

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри

_____ С.В. Драган

«_____» _____ 2023

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: “РОЗРОБКА ТА АТЕСТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ВЕРФІ м. БАКУ”

Виконав: студент 41213 групи

_____ Рагімов Е.П.
(підпис)

Керівник роботи:
Професор, к.т.н., професор НУК
_____ Костін О.М.
(підпис)

Миколаїв 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

_____ О.М. Костін

«___» _____ 20___ р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту _____ Рагімову Еміну Павловичу _____
(Прізвище ім'я по батькові)

1. Тема роботи: Розробка та атестація технологічних процесів зварювання для верфі м. Баку

Керівник роботи Костін Олександр Михайлович, професор, к.т.н.

Затверджено наказом ректора № _____ від «___» _____ 20___ року

2. Термін подання роботи: _____

3. Вихідні дані по роботі: Матеріал, вуглецева сталь класу ЕН36 товщиною 25.4, 25 та 7мм та електроди Е7018 3.2 мм та 4.0 мм, Е71Т-Т-1СJ 1.2мм та ОК Autrod 12.22 4мм. _____

4. Список питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Аналіз технологій зварювання суднобудівної конструкції. Методика атестації технологічних процесів зварювання. Розробка та атестація технологічних процесів зварювання. Техніка безпеки під час виконання зварювальних робіт та охорона праці. Розрахунок економічної ефективності.

5. Список презентаційних матеріалів

Аналіз технологій зварювання суднобудівних конструкцій. Методика атестації технологічних процесів зварювання. Методи контролю за якістю зварних швів. Розробка та атестація технологічних процесів зварювання. Дослідження руйнівного та неруйнівного контролю (якісних та кількісних) випробувань. Техніка безпеки під час виконання зварювальних робіт та охорона праці. Розрахунок економічної ефективності

6. Консультанти розділів роботи.

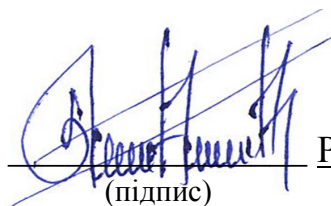
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Костін О.М., професор, к.т.н		
2	Костін О.М., професор, к.т.н		
3	Костін О.М., професор, к.т.н		
4	Костін О.М., професор, к.т.н		
5	Костін О.М., професор, к.т.н		

7. Дата видачі завдання 02.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологій зварювання суднобудівних конструкцій	22.10.2023	
2	Методика атестації технологічних процесів зварювання	29.10.2023	
3	Розробка та атестація технологічних процесів зварювання	12.11.2023	
4	Техніка безпеки під час виконання зварювальних робіт та охорона праці	15.11.2023	
5	Розрахунок економічної ефективності	20.11.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2023	
7	Презентаційні матеріали	04.12.2023	
8			
9			
10			

Студент



Рагімов Е.П.
(ПІБ)

Керівник роботи

Костін О.М.
(підпис) (ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Ключові слова: Суднобудування, зварювання, конструкції, зварювання покритим електродом, порошковим дротом, під флюсом, ручна, дефект, напівавтоматична, автоматична, вольфрамовим електродом, контроль якості, випробування зварних швів, матеріали, джерела живлення, специфікації, розробка та атестація, стандарти технології зварювання, режими , розрахунок режимів, звіти, форми та розробка, хімічного складу, механічних, структуру, техніка безпеки, охорона праці та навколишнього середовища та економічний розрахунок.

Дипломна робота присвячена огляду технологічних процесів зварювання у виробництві, зокрема корпусів суден з різних вуглецевих сталей.

Проведено розрахунок різних існуючих способів зварювання; визначено їх основні параметри, властивості, структуру та розроблено процедуру.

За результатами аналізу зроблено висновок, що дугове зварювання є оптимальним варіантом для серійного виробництва судових корпусів.

В роботі описані склад та властивості електродів, а також склад та властивості вуглецевої сталі марки ЕН36. Визначено технології та режими ручного, напівавтоматичного та автоматичного дугового зварювання.

Розроблено комплексну методику, на підставі якої проведено дослідження руйнівного та неруйнівного контролю (якісних та кількісних) випробувань зварної сполуки з вуглецевої сталі марки ЕН36.

Визначено комплекс заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища та основні положення правил техніки безпеки при електрозварюванні.

Результати дослідження, а також розрахунки економічної частини дипломної роботи свідчать про економію матеріальних витрат при масовому виробництві, наприклад визначення та розрахунок технічних норм часу на складання та зварювання, загальної трудомісткості, кількості обладнання та капітальних вкладень.

					ДП.131.41213.05.00. ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

Key words: Shipbuilding, welding, structures, welding shielded metal arc, flux-cored wire, submerged arc, manual, defect, semi-automatic, automatic, tungsten electrode, quality control, weld testing, materials, power sources, specifications, development and certification, technology standards welding, modes, calculation of modes, reports, forms and development, chemical composition, mechanical, structure, safety precautions, labor and environmental protection and economic calculations.

Graduate work is devoted to a review of technological welding processes in the production, in particular, of ship hulls made of various carbon steels.

Calculations were carried out for various existing welding methods; their main parameters, properties, structure were determined and a procedure was developed.

Based on the results of the analysis, it was concluded that arc welding is the best option for mass production of ship hulls.

The work describes the composition and properties of electrodes and the composition and properties of carbon steel grade EH36. Technologies and modes of manual, semi-automatic and automatic arc welding are defined.

A comprehensive methodology has been developed, on the basis of which a study of destructive and non-destructive testing (qualitative and quantitative) tests of a welded joint made of carbon steel grade EH36 was carried out.

A set of measures for labor protection and environmental protection and the main provisions of safety regulations for electric welding have been determined.

The results of the study, as well as calculations of the economic part of the thesis, indicate savings in material costs in mass production, for example, the determination and calculation of technical standards for assembly and welding time, total labor intensity, the amount of equipment and capital investments.

					<i>ДП.131.41213.05.00. ПЗ</i>	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ СУДНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ	7
1.1. Бакинський Суднобудівний Завод	7
1.2. Огляд процесу суднобудування	7
1.3. Способи зварювання, що використовуються у процесі складання конструкції	9
1.4. Контроль якості (Quality Control)	15
1.5. Контроль якості зварювання	16
1.6. Види контролю зварних з'єднань	19
1.7. Витратні зварювальні матеріали	21
1.8. Зварювальні джерела живлення (обладнання)	24
1.9. Мета роботи та завдання: Розробка та атестація технологічних процесів зварювання	27
2. МЕТОДИКА АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ	28
2.1. Специфікації для атестації зварювальних процедур	28
2.2. Стандарти технології зварювання для атестації процедур	29
2.3. Процес атестації зварювальних процедур	30
2.4. Режим зварювання	32
Висновки	34
2. РОЗРОБКА ТА АТЕСТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ	35
3.1. Розрахунок режимів при ручному дуговому зварюванні покритими електродами	35
3.2. Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (SMAW)	42
3.3. Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (SMAW)	45
3.4. Звітиз неруйнівного контролю (SMAW)	47
3.5. Звіти механічних випробувань (SMAW)	49
3.6. Специфікація зварювальної процедури (WPS/SMAW)	54
3.7. Розрахунок режимів при механізованому дуговому зварюванні самозахисним порошковим дротом у захисному газі	55
3.8. Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (FCAW)	62
3.9. Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (FCAW)	65
3.10. Звітиз неруйнівного контролю (FCAW)	67
3.11. Звіти механічних випробувань (FCAW)	69
3.12. Специфікація зварювальної процедури (WPS/FCAW)	73
3.13. Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом	75

					<i>ДП.131.4121з.05.00. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

3.14. Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (SAW)	82
3.15. Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (SAW)	85
3.16. Звіт неруйнівного контролю (SAW)	86
3.17. Звіти механічних випробувань (SAW)	88
3.18. Специфікація зварювальної процедури (WPS/SAW)	92
Висновки	93
4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТ І ОХОРОНА ПРАЦІ	95
4.1. Основні положення техніки безпеки при електричному зварюванні	95
4.2. Техніка безпеки на будівельно-монтажному майданчику	99
4.3. Охорона праці та навколишнього середовища	101
4.3.1. Охорона праці	101
4.3.2. Охорона навколишнього середовища	106
Висновки	107
5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	109
5.1. Визначення та розрахунок технічних норм часу на складання та зварювання	109
5.2. Визначення загальної трудомісткості	112
5.3. Розрахунок кількості обладнання та його завантаження	113
5.4. Розрахунок капітальних вкладень	114
Висновки	115
Загальні висновки	116
Список використаної літератури	118
Додатки	

ВСТУП

У сучасному динамічному середовищі суднобудівної індустрії питання розробки та атестації технологічних процесів зварювання стають ключовими в контексті забезпечення високої якості, безпеки та ефективності виробництва на верфях. Дана дипломна робота присвячена дослідженню цього питання, стосовно верф, з метою вироблення оптимальних підходів, що сприяють не тільки підвищенню технічних стандартів зварювальних процесів, але і зміцненню позицій даної верфі на ринку морського суднобудування.

Вуглецева сталь ЕН36 зазвичай застосовується у суднобудуванні, а точніше для будівництва корпусних елементів морських суден. ЕН36 відноситься до високоміцних сталей з підвищеною міцністю та відмінною стійкістю до впливу низьких температур.

Сталь ЕН36 зазвичай підтримує свою міцність при температурах, близьких до довкілля. Однак її особливістю є хороша стійкість до низьких температур і вона може ефективно використовуватися при експлуатації в умовах до -40°C . Це особливо важливо для морських суден, що працюють у холодних морських регіонах або арктичних умовах, де низькі температури можуть викликати матеріали.

Міцність сталі ЕН36 залежить від конкретних технічних характеристик та стандартів виробника. Зазвичай її характеризують межею плинності, межею міцності та подовженням при розриві.

Наприклад, типові значення ЕН36 можуть бути приблизно такими, межа плинності: близько 355 МПа, межа міцності: 490-620 МПа, подовження при розриві: мінімум 21%.

Ці значення роблять ЕН36 високоміцною сталлю, що особливо важливо в суднобудівній індустрії для забезпечення безпеки та довговічності морських конструкцій.

Основним способом міцного з'єднання різних металевих деталей залишається зварювання. Тому виникає необхідність у даній роботі провести дослідження та атестацію технологічних процесів зварювання для вуглецевої сталі марки ЕН36 з використанням ручного та механізованого зварювання.

					ДП.131.41213.05.00. ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Рагімов			ВСТУП			Лім.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Костін								6	121
Консул.								НУК ім. адм. Макарова			
Н. Контр.											
Зав.каф.		Драган									

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ СУДНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Бакинський Суднобудівний Завод

Бакинський Суднобудівний Завод був створений у 2011 році з метою надання послуг суднобудування та судноремонту для морської та офшорної промисловості у Каспійському регіоні. Спеціалізація у проектуванні та будівництві комерційних, пасажирських суден, танкерів, буксирів, поромів та інших плавзасобів дозволяє розвивати неперевершений досвід у цій геолокації. Бакинський Суднобудівний Завод здобула репутацію виробника високоякісних суден, які обслуговують широкий спектр морської та офшорної промисловості.

Завдяки перевіреному досвіду, суднобудівний завод вже реалізував кілька чудових проектів, таких як:

плавучий док, буксир, судна для екіпажу, підводне будівельне судно, понтони для напівзанурювальних бурових установок, нафтові танкери, хімовози, залізничний автомобіль пасажирські пороми.

Завод оснащений найсучаснішим вимогам обладнанням, виробленим у Фінляндії, Нідерландах, Німеччині, Чеській Республіці, Великобританії, Республіці Корея та Сінгапурі. У виробничому процесі використовується такий сучасний технологічний засіб, як 3D-цифрове обладнання металорізки, профілювання, листорізання та труборізання та сучасні технології зварювання та їх застосування [1].

1.2 Огляд процесу суднобудування

Наведено огляд процесу суднобудування на малюнку 1.1. Початковим етапом є проектування. Питання проектування різних типів судів варіюються у широкому діапазоні. Судна можуть перевозити матеріали або людей, можуть бути на повітряній подушці чи підводних крилах, військовими чи торговими, і навіть можуть бути атомними чи неатомними.

					ДП.131.41213.05.01. ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ СУДНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ				Лім.	Арк.	Аркушів		
Студент	Рагімов											7	121
Керівник.	Костін												
Консул.													
Н. Контр.													
Зав.каф.	Драган												
					НУК ім. адм. Макарова								

На стадії проектування братися до уваги повинні не тільки звичайні параметри будівництва, але й фактори техніки безпеки та охорони праці, пов'язані з процесом будівництва або ремонту. Крім того, на цій стадії займаються й екологічними питаннями.

Малюнок 1.1 Технологічна картка [2].



Базовим компонентом суднобудування є сталевий лист і найчастіше використовується вуглецева сталь клас А (АН/ДН/ЕН) і в деяких частинах низьколегована та високолегована. Листи розрізаються, формуються, згинаються або виготовляються за бажаною конфігурацією, якщо це зазначено у проекті. У загальному випадку, листи обрізаються автоматичною газовою різкою до надання їм певних профілів і кромek, зазначених на кресленнях або технологічною зварювальною процедурою (WPS), після чого ці профілі можуть приварюватися зварюванням один до одного для утворення балок двотаврового перерізу та балок таврового перерізу, а також інші елементи конструкції.

Потім листи направляються в складальний цех, де вони з'єднуються в різні компоненти та складальні вузли (панель, вузол виготовлення підрозділу та фундаментів, наприклад, для двигунів, генераторів, насосів і т.д.). На них проводиться складання трубопроводів, електричних та інших енергосистем, і потім вони об'єднуються у складальні одиниці. Здійснюється монтаж складальних одиниць при використанні автоматичного або ручного зварювання або в комбінації і тієї чи іншої. Застосовується кілька типів зварювання. Найбільш часто використовуваною є процеси зварювання електрод, що плавиться.

для з'єднання сталевих листів. Інші процеси використовують дугове зварювання в середовищі інертного газу, і навіть електроди, що не плавляться.

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потім, складальні вузли або складальні одиниці зазвичай переміщуються на опорну плиту, що знаходиться на відкритому повітрі, або укладаються в зоні проведення складання або з'єднання вузлів, де проводиться формування об'ємніших складальних одиниць або блоків. Тут проводяться додаткові зварювальні роботи та припасування кромки, зазначених на кресленнях або технологічною зварювальною процедурою (WPS). Далі, складальні одиниці та зварні з'єднання повинні пройти перевірку на предмет контролю якості та випробування, таке як радіографія, ультразвукові та інші випробування, що руйнують і неруйнують [2].

1.3 Способи зварювання, що використовуються в процесі збирання конструкції

Зварне з'єднання - це нероз'ємне з'єднання двох деталей, отримане розплавленням кромки. Для зміцнення та заповнення шва використовується присадковий метал, змішаний з основним металом.

Процес розплавлення ведеться:

- ручне дугове зварювання покритим електродом (для MMA manual metal arc welding / SMAW shielded metal arc welding)
- порошковим дротом від пальника/мундштука (для FCAW flux cored arc welding / MAG metal active gas)
- дугове зварювання під флюсом дротом від пальника/мундштука (SAW submerged arc welding)
- вольфрамівим електродом (для методу TIG tungsten inert gas/GTAW gas tungsten arc welding)

При ручному дуговому, автоматичному та напівавтоматичному з порошковим дротом зварках утворюється шлакова скоринка, яку відбивають спеціальними молотками. В інших методах шви одночасно чисті та доступні для огляду [3].

1.3.1 Ручне дугове зварювання покритим електродом (MMA/SMAW)

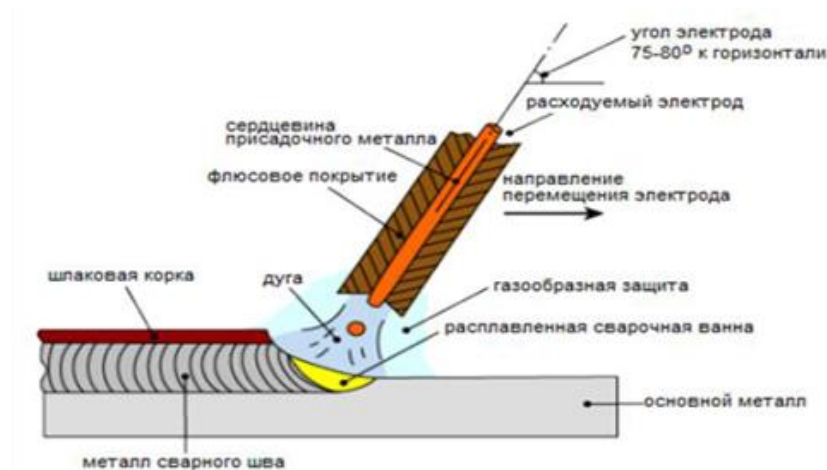
Найбільш універсальний із зварювальних процесів, ручне дугове зварювання металевим електродом, підходить для зварювання більшості чорних та кольорових металів у широкому діапазоні товщин. Процес зварювання MMA використовується у всіх зварювальних позиціях, з практичною простотою

					ДП.131.41213.05.01. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання та щодо економічним способом. Кінцева якість зварювання насамперед залежить від майстерності зварювальника.

Коли між електродом з покриттям та оброблюваною деталлю виникає дуга, як електрод, так і деталь плавляться для утворення зварювальної ванни. Середня температура дуги становить приблизно 6000°C , що є достатнім для одночасного плавлення основного металу, електродного дроту, що витрачається, і флюсового покриття. Флюс утворює газ і шлак, який захищає зварювальну ванну від кисню та азоту у навколишній атмосфері. Розплавлений шлак твердне і охолоджується і повинен бути відколотий від зварного шва після завершення проходу при накладенні основного шва (або до наступного наплавлення зварного проходу). Цей процес дозволяє виробляти короткі зварні шви тільки після того, як у тримач буде вставлено новий електрод [4].

Малюнок 1.2 Ручне дугове зварювання покритим електродом (MMA/SMAW) [4].



Вимоги до основного обладнання для зварювання ММА

- 1) Трансформатор/випрямляч джерела живлення (постійний тип струму).
- 2) Пекти для підігріву електродів (підтримує при температурі до 150°C)
- 3) Джерело живлення інвертора (більш компактний і портативний)
- 4) Кабель живлення (відповідної номінальної потужності)
- 5) Утримувач електрода (з відповідною номінальною силою струму)
- 6) Зварювальний щиток (з правильною оцінкою сили струму, процесу)
- 7) Замикаючий кабель (відповідної номінальної потужності)
- 8) Електроди (відповідного типу та номінальної потужності)

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9) Електродна піч (прожарює електроди при температурі до 350C)

10) Термос електродний (портативний та підтримує температуру до 70C)

11) Панель управління (вкл./вимк. /сила струму/полярність/OCV)

1.3.2 Напівавтоматичне зварювання порошковим дротом (FCAW)

Порошковий дріт складається з металевої оболонки, всередині якої знаходиться гранульований флюс, який може містити елементи, які зазвичай використовуються в електродах MMA, таким чином, даний метод є багатофункціональним.

Крім того, елементи та компоненти сплаву, що виробляють газ, можуть бути додані до флюсу, таким чином, при цьому методі не потрібен окремий газовий захист, що обмежує використання традиційних технологій.

MIG/MAG при зварювальному виробництві багатьох виробів.

Але в нашому суднобудівному заводі при зварюванні порошковим дротом (FCAW) використовується вуглекислий газ CO₂ (так званий з подвійним захистом).

Більшість видів дроту герметично запаяні різними формами сполук. Ефективність дротяних сполук є предметом інспекції при зварюванні FCAW, оскільки поглинання вологи дротом може призвести до втрати якості зварного шва [4].

Малюнок 1.3 Зварювальне обладнання MIG/MAG [4].

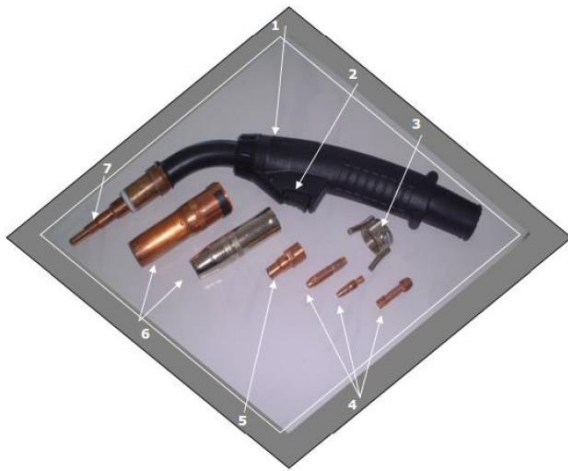


Вимоги до обладнання для зварювання

1) Джерело живлення трансформатор/випрямляч (постійної напруги);

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- 2) Провід живлення та зворотний провід живлення;
- 3) Інертний, активний або змішаний захисний газ (CO₂, аргон та суміші газів);
- 4) Газовий шланг, витратомір газу, регулятор витрати газу;
- 5) Зварювальний пальник MIG/MAG зі шлангом, напрямним каналом, розпилювачем, струмопровідним наконечником та соплом;
- 6) Система подачі дроту із приводними валиками;
- 7) Електродний дріт необхідної специфікації та діаметра;
- 8) Відповідний захисний одяг та витяжна система.



Малюнок 1.4 Складання головки зварювального пальника за технологією [4].

1. Корпус зварювального пальника
2. Вимикач із фіксацією Увімк. /Вимк.
3. Розділювач точкового зварювання
4. Струмопровідні наконечники
5. Розпилювач газу
6. Запасні насадки

7. Складання головки зварювального пальника (за винятком насадок).

1.3.3 Автоматичне дугове зварювання під флюсом (SAW)

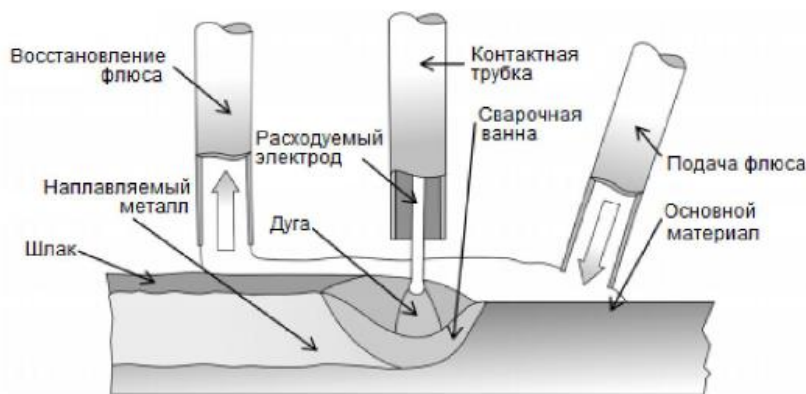
При дуговому зварюванні під флюсом (SAW) дуга формується між електродним дротом, що безперервно подається без покриття і основною пластиною. Дуга, кінець електрода і розплавлена зварювальна ванна занурюються в агломерований або розплавлений порошкоподібний флюс, який при підігріванні дуги перетворюється на газ і шлак у нижніх шарах, захищаючи, таким чином, зварний шов від забруднення. Електродний дріт безперервно подається за допомогою блоку подачі електроприводних роликів, які зазвичай контролюються напругою для забезпечення постійної довжини дуги. Флюс подається із завантажувальної лійки, прикріпленої до зварювальної голівки, а трубка із завантажувальної лійки розподіляє флюс у безперервній подовженого насипу перед дугою вздовж лінії передбачуваного зварного шва та достатньої глибини для повного занурення дуги; отже, відсутня розбризкування, зварний шов захищений від атмосфери і немає

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ультрафіолетового чи інфрачервоного випромінювання. Нерозплавлений флюс відновлюється для подальшого використання. Використання порошкоподібного флюсу обмежує процес нижньої та горизонтально-вертикальної зварювальними позиціями.

Характерною рисою дугового зварювання під флюсом є використання високого зварювального струму, який дає глибоке проплавлення (провар) та високі швидкості наплавлення. Зазвичай використовуються електроди постійного струму з позитивним зарядом DC+ve до 1000A, оскільки це сприяє глибокому проплавленню. При деяких застосуваннях (наприклад, обшивка) необхідно використовувати електрод постійного струму з негативним зарядом DC-ve для зменшення глибини проплавлення та розрідження. При великих струмах або у разі множинних електродних систем часто рекомендується використовувати змінний струм, щоб уникнути відхилення зварювальної дуги (при використанні множинної електродної системи електрод постійного струму з позитивним зарядом використовується для провідної дуги, а змінний струм використовується для замикаючої дуги).

Малюнок 1.5 Автоматичне дугове зварювання під флюсом (SAW) [4].



Іноді виникають труднощі при розбіжності шва із заздалегідь наміченою лінією шва, оскільки цю лінію не завжди видно з-за флюсу. Там, де це можливо, використовують спрямовуюче колесо, призначене для підготовки шва, яке розташовується перед зварювальною головкою та флюсовими завантажувальними воронками.

Дугове зварювання під флюсом широко застосовується в кораблебудуванні, для судин під тиском, магістральних трубах, залізничних вагонах та

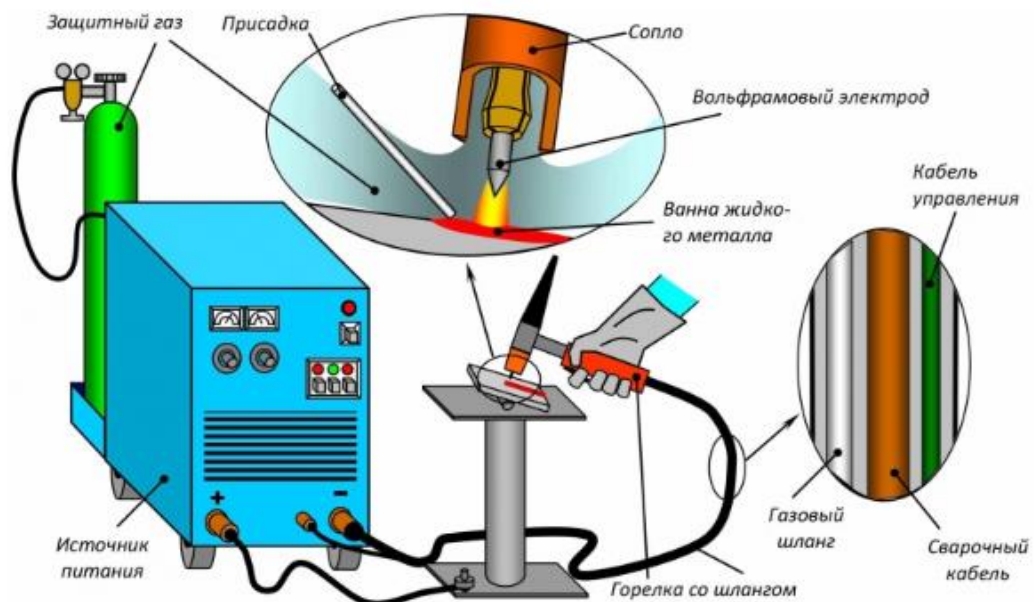
					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

скрізь, де потрібні довгі зварювальні заготовки. Даний метод використовується для зварювання заготовок завтовшки від 5 мм і більше [4].

1.3.4 Зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться, в інертному газі (TIG/GTAW)

Плавлення проводиться шляхом підігрівання дугою, пропущеної між вольфрамовим електродом, що не плавиться, і заготовкою. Інертний газ використовується для захисту електрода та зони зварного шва, щоб запобігти окисленню вольфрамового електрода та атмосферне забруднення зварювального дроту та гарячого присадного дроту [4].

Малюнок 1.6 Технологія TIG/GTAW



Основні вимоги до обладнання [5].

Вольфрам використовується тому, що він має температуру плавлення 3370°C, що значно вище за будь-який інший звичайний метал.

Основні параметри зварювання TIG:

- Зварювальний струм.
- Тип струму та полярність (заряд).
- швидкість зварювання.
- Форма наконечника вольфрамового електрода та кут вершини.
- Витрата захисного газу.
- Виліт електрода

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Форма наконечника вольфрамового електрода

- Торовані, ітровані або лантановані вольфрамові електроди використовуються з DC-ve, наконечник яких формується під певним кутом (кут наконечника електрода або кут вершини показані нижче).

- Як правило, довжина скрученої частини наконечника електрода має бути більше приблизно 2-2.5 разів діаметра електрода.

- При використанні змінного струму наконечник електрода скошується плоско, щоб звести до мінімуму ризик відриву наконечника під час загоряння дуги або під час зварювання (рисунок 1.7).

- Якщо кут вершини збільшується, то збільшується провар.

- Якщо кут вершини зменшується, збільшується ширина зварного валика.

- Для зварювання змінним струмом використовуються безпримесні або цирконієві вольфрамові електроди. Вони використовуються з напівсферичним (кулястим) кінцем (як показано нижче). Для отримання кулястого кінця електрод заземляється, відбувається загоряння дуги, і струм збільшується, поки він не розплавить наконечник електрода.

Малюнок 1.7 Приклади форм наконечників електродів [4].



Як захисний газ у зварюванні TIG зазвичай використовуються такі: інертні газы:

- Аргон,

- Гелій,

- Суміші аргону та гелію [4].

1.4 Контроль якості (Quality Control)- будь-яка планова та систематична діяльність, що проводиться на виробничому підприємстві

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(у виробничій системі), що реалізується для гарантованого підтвердження того, що вироблені товари, послуги, процеси, що виконуються, відповідають встановленим вимогам клієнтів (стандартам) [6].

1.5 Контроль якості зварювання

Основні недоліки зварних швів.

Дефекти зварних швів є наслідком неправильного вибору чи порушення технологічного процесу виготовлення зварної конструкції, застосування неякісних зварювальних матеріалів та низької кваліфікації зварювальника.

Дефекти поділяються на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх дефектів відносяться: порушення розмірів та форми шва, непровар, підріз зони сплавлення, поверхневе окислення, пропал, наплив, поверхневі пори, незавірені кратери та тріщини поздовжні та поперечні. До внутрішніх дефектів відносяться: внутрішні пори, неметалеві включення, непровар та мікротріщини.

Порушення розмірів та форми шва виявляється у неповномірності ширини та висоти шва, у надмірному посиленні та різких переходах від основного металу до наплавленого. Ці дефекти при ручному зварюванні є результатом низької кваліфікації зварювальника, поганої підготовки кромок, що зварюються, неправильного вибору зварювального струму, низької якості складання під зварювання. Дефекти форми шва можуть бути наслідком коливань напруги в мережі. При автоматичному зварюванні порушення форми та розмірів шва є наслідком неправильної обробки шва або порушення режиму в процесі зварювання (швидкості зварювання, швидкості подачі електродного дроту, зварювального струму).

Непровар - місцеве несплавлення зварюваних кромок основного та наплавленого металів є наслідком низької кваліфікації зварювальника, неякісної підготовки кромок, що зварюються (малий кут скосу, відсутність зазору, велике притуплення), зміщення електрода до однієї з кромок, швидкого переміщення електрода швом.

Підріз - Вузьке поглиблення в основному металі вздовж краю зварного шва утворюється при зварюванні великим струмом або подовженою дугою, при завищеній

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності пальника, неправильному положенні електрода або пальника та прутка.

Поверхнєве окиснення - окислення металу шва та прилеглого до нього основного металу. Причинами є сильно окислююче середовище, велика довжина дуги, надмірно велика потужність зварювального пальника або занадто великий зварювальний струм, уповільнене переміщення електрода або пальника вздовж шва.

Пропал - Наскрізний отвір у зварному шві. Основними причинами пропалювання є великий зварювальний струм, завищена потужність зварювального пальника, мала товщина основного металу, мале притуплення кромки, що зварюються, і нерівномірний зазор між ними по довжині.

Наплив - результат натікання металу шва на непрогріту поверхню основного металу або виконаного раніше валика без сплавлення з ним. Такі дефекти можуть бути при низькій кваліфікації зварювальника, неякісних електродах та невідповідності швидкості зварювання та зварювального струму обробці шва.

Поверхнєві та внутрішні пори виникають внаслідок потрапляння в метал шва газів (водень, азот, вуглекислий газ та ін), що утворилися при зварюванні. Водень утворюється з вологи, олії та компонентів покриття електродів. Азот у метал шва потрапляє з атмосферного повітря за недостатньо якісного захисту розплавленого металу шва.

Оксид вуглецю утворюється у процесі зварювання сталі при вигоранні вуглецю, що міститься у металі. Якщо сталь, що зварюється, і електроди мають підвищений вміст вуглецю, то при нестачі в зварювальній ванні розкислювачів і при великій швидкості зварювання оксид вуглецю не встигає виділитися і залишається в металі шва.

Таким чином, пористість є результатом поганої підготовки кромки, що зварюються (забрудненість, іржа, замасленість), застосування електродів із сирим покриттям, вологого флюсу, нестачі розкислювачів, великих швидкостей зварювання.

Неметалічні включення утворюються при зварюванні малим зварювальним струмом, застосуванні неякісних електродів, зварювального дроту, флюсу,

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднених кромках і погане очищення шва від шлаку при багат шаровому зварюванні. При неправильно вибраному режимі зварювання шлаки та оксиди не встигають впливати на поверхню і залишаються в металі шва у вигляді неметалевих включень.

Тріщини зовнішні та внутрішні (мікротріщини) є небезпечними та неприпустимими дефектами зварних швів. Вони утворюються внаслідок напруг, що виникають у металі від його нерівномірного нагріву, охолодження та усадки. Високовуглецеві та леговані сталі після зварювання при охолодженні гартуються, внаслідок чого можуть утворитися тріщини. Причиною виникнення тріщин служить також підвищений вміст сталі шкідливих домішок (сірки і фосфору).

1.5.1 Методи усунення дефектів зварних швів.

Неповномірність швів усувається наплавленням додаткового шару металу. При цьому поверхню, що наплавляється, необхідно ретельно очистити до металевих блиску абразивним інструментом або металевою щіткою. Надмірне посилення шва усувають за допомогою абразивного інструменту або пневматичного зубила.

Непровар, кратери, поверхневі та внутрішні пори та неметалеві включення усувають вирубуванням пневматичним зубилом або розчищенням абразивним інструментом усієї дефектної ділянки з подальшим заварюванням. Часто застосовують виплавку дефектної ділянки за допомогою поверхневого кисневого або повітрянодугового різання.

Підрізи заварюють тонкими валиковими швами. Напливи усувають обробкою абразивним інструментом або за допомогою пневматичного зубила. Зовнішні тріщини усувають обробкою та наступною заваркою.

Для запобігання поширенню тріщини по кінцях її засвердлюють отвори. Обробку тріщини виконують зубилом або різак.

Кромки оброблення зачищають від шлаку, бризок металу, окалини та заварюють.

Шви із внутрішніми тріщинами вирубують і заварюють заново. За наявності сітки тріщин дефектну ділянку вирізують і зварюванням накладають лату.

					ДП.131.41213.05.01. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Види контролю зварних з'єднань

Для отримання зварного з'єднання хорошої якості необхідно здійснювати контроль, починаючи з перевірки якості підготовки шва та закінчуючи перевіркою отриманого зварного з'єднання. Якість основного металу, електродного дроту, присадкового металу, флюсу та інших матеріалів перевіряють за сертифікатами та заводськими документами. Маркування та якість повинні відповідати встановленим технічним умовам та технологічному процесу зварювання. Складання під зварювання та обробку шва перевіряють за стандартами та технічними умовами.

Зварне з'єднання перевіряється зовнішнім оглядом, хімічним аналізом, механічними випробуваннями, просвічуванням рентгенівськими та гаммапроменеві, капілярне тестування рідини, магнітними методами та за допомогою ультразвуку. Попередньо зварне з'єднання очищають від шлаку, окалини та металевих бризок [7].

Зовнішнім оглядом виявляють зовнішні недоліки шва. Огляд роблять неозброєним оком або за допомогою лупи із десятикратним збільшенням. Розміри зварних швів перевіряють шаблонами та мірювальним інструментом.

Неруйнівне обстеження зварних з'єднань – візуальний огляд проводиться за ISO 17637 [8].

Хімічним аналізом визначають склад основного та наплавленого металів та електродів, а також їх відповідність встановленим технічним умовам на виготовлення зварного виробу. Методи відбору проб для хімічного та спектрального аналізів передбачені ГОСТ 7122 - 81 [9].

Механічні випробування проводять або спеціально зварених контрольних зразків або зразків, вирізаних з зварного з'єднання. Визначають межу міцності на розтяг, ударну в'язкість, твердість та кут загину.

Рентгенодефектоскопія ґрунтується на різному поглинанні рентгенівських променів різними речовинами. Цим методом виявляють пори, мікротріщини, непровари, неметалічні включення (критерії приймання RS rules for c. and c. II.

Магнітні методи контролю ґрунтуються на дослідженні магнітних полів розсіювання на намагніченому контрольованому виробі. Застосовується магнітно-

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порошковий метод (критерії приймання AWS D1.1, ISO 23278, RS rules volume II part XIV).

Ультразвуковий метод контролю заснований на здатності ультразвукових коливань проникати в товщу металу на значну глибину і відбиватися від неметалевих включень та інших дефектних ділянок шва (критерії приймання EN1712/EN1714/RS rules volume II part XIV). [10]

1.6.1 Випробування зварних швів ємностей на герметичність проводять у різний спосіб.

Випробування стисненим повітрям - проводять нагнітанням в резервуар стисненого повітря до тиску, зазначеного в технічних умовах на виготовлення резервуара. Шви покривають мильною емульсією (водою); за наявності дефектів з'являються мильні бульбашки. Якщо габарити дозволяють завантажити резервуар, що випробовується, у ванну з водою, тоді дефекти визначають по бульбашках повітря. Трубопроводи та великі резервуари відчують стисненим повітрям на величину втрати тиску за час, встановлений технічними умовами.

Вакуум-апаратом контролюють зварні шви, що мають односторонній доступ, коли неможливо використовувати гас, повітря чи воду. Апарат складається з камери з вакуумметром та насоса. Контрольований зварний шов покривають мильною водою, на неї встановлюють камеру і включають насос, який створює в камері вакуум, в результаті камера присмоктується до випробуваної поверхні. Для герметичності камера має у торці м'яку гумову прокладку. Якщо шов має дефекти (пори, тріщини, нещільності), з'являються мильні бульбашки, які спостерігаються через скло камери.

Гідравлічне випробування - проводять з метою перевірки не лише щільності швів, а й їхньої міцності. Таке випробування піддають зварні трубопроводи, судини та резервуари для газу або рідини, що працюють під тиском. Для цієї мети всі отвори виробу щільно закривають заглушками та заповнюють його водою. За допомогою гідравлічного преса створюють тиск, що в 1,5 рази перевищує робочий тиск і витримують протягом часу, зазначеного в технічних умовах на виготовлення виробу. Потім знижують тиск до робочого значення та перевіряють наявність потіння та пропусків води у швах [7].

					<i>ДП.131.41213.05.01. ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Витратні зварювальні матеріали

Зварювальні матеріали визначаються як усі речі, які використовуються у виробництві зварного шва.

Цей список може включати безліч речей, що використовуються для виробництва зварного шва; однак ми зазвичай згадуємо витратні зварювальні матеріали, як те, що використовується при певному зварювальному процесі.

До них відносяться: Електроди, дроти, флюси та газу і т.д. (Таблиця 1.1)

При інспекції витратних матеріалів, що надійшли, перевіряються наступні аспекти: розмір, вид специфікації, стан та зберігання.

Таблиця 1.1 Витратні зварювальні матеріали

GEKA LASER ELECTRODE B47 E7018 2.50X350MM AWS A5.1
GEKA LASER ELECTRODE B47 E7018 4.00X450MM AWS A5.1
GEKA LASER ELECTRODE B47-A E7016 3.2 X 350MM AWS A5.1
GEKA WIRE ELCOR R71 1.2MM E71T-T-1CJ / E71T-1C AWS A5.20
GEKA SG2 ER70S-6 2.4MM ROD
ESAB AUTOROD OK 12.22 (EM12K) 4.0MM AWS A5.17
ESAB ELECTRODE OK 67.60 VAC PAC 3.2X350MM /E 309L-17
ESAB ELECTRODE OK 67.60 VAC PAC 2.5X300MM /E 309L-17
ESAB ELECTRODE OK VAC PAC NI-CI 2.5x300MM
ESAB OK 12.22 (EM12K) Oerlikon OE-S2 WIRE 4.0MM AWS A5.17
ESAB OK 48.08 3.2MM E7018-G
ESAB OK TIGROD 19.40 2.4MM
ESAB OK TOGROD 309L 2.4MM
ESAB OK TIG ROD 316L 1.6MM / 2.0MM
ESAB 67.70 SIZE: 3.2x350/309 L
ESAB OK FLUX 10.62/10.69/10.71
LINCOLN FLUX CORED WIRE 71C E71T-1 1.2MM
LINCOLN GTAW WIRE LNT GUNI 30 2.0MM / 1.6MM
KOBE TGS 50 2.4MM TIG RODS
KOBE LB-621 3.2/4.0 MM
ELGA P48K, E8018-C1 3.2/4.0MM
HYUNDAI 71H SUPERCORED 1.2MM AWS 5.20

WIRE KESTRA 4435 LCW 3.2x350MM
CERAMIC ICB 0312/ICB 0308/DIA 07
TEMPERATURE STICK 121/152/649/871 DEG C
ELECTRODE GOUGING CARBON 8X305MM

Стандарти, що використовуються для електродів AWS A5.1/AWS A5.20/AWS A5.17/AWS A5.18

Використовувані захисні гази для зварювання, різання та продування

- Аргон (ГОСТ 10157-79 Стандарт аргон газоподібний та рідкий, технічні умови)

- CO₂ Вуглекислий газ (ГОСТ 8050-85 Двоокис вуглецю газоподібний та рідкий, технічні умови)

- Застосування технічних газів для різання металобрухту

- Азот

- Кисень

Витратні матеріали для зварювання ММА

Витратні матеріали для зварювання ММА складаються з дроту із сердечником довжиною зазвичай між 350мм та 450мм та діаметром 2.5-6мм. Також використовуються інші величини розміру та діаметра. Дріт зазвичай виготовляється з окропу низької якості, так як зварне з'єднання вважається литтям, і таким чином, може бути удосконалено шляхом додавання чистячих елементів у флюсове покриття. Флюсове покриття містить багато елементів та складових, кожне з яких виконує певну функцію в процесі зварювання. Кремній зазвичай додається як розкислювач (у формі залізо-силікату), його функцією є видалення кисню з поверхні металу шва шляхом формування діоксиду кремнію. Марганцеві додавання до 1.6% покращують міцність та жорсткість сталі [4].

Таблиця 1.2 Загальні групи електродів [4].

Группа	Составляющий элемент	Защитный газ	Область использования	AWS A 5.1
Рутитовый	Диоксид титана	В основном CO ₂	Общее применение	E 6013
Основной	Соединения кальция	В основном CO ₂	Высокое качество	E 7018
Целлюлозный	Целлюлоза	Водород + CO ₂	Корневой проход в трубах	E 6010

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 1.3 AWS A5.1 та (AWS 5.5 дуже рідко використовуються) [4].

А. Прочность на растяжение + предел текучести и E%

Code	Min yield PSI x 1000	Min tensile PSI x 1000	Min E % In 2" min
Общее			
E 60xx	48,000	60,000	17-22
E 70xx	57,000	70,000	17-22
E 80xx	68-80,000	80,000	19-22
E 100xx	87,000	100,000	13-16
Информация о специфических электродах для E 60xx and 70xx			
E 6010	48,000	60,000	22
E 6011	48,000	60,000	22
E 6012	48,000	60,000	17
E 6013	48,000	60,000	17
E 6020	48,000	60,000	22
E 6022	Не требуется	60,000	Не требуется
E 6027	48,000	60,000	22
E 7014	58,000	70,000	17
E 7015	58,000	70,000	22
E 7016	58,000	70,000	22
E 7018	58,000	70,000	22
E 7024	58,000	70,000	17
E 7028	58,000	70,000	20

В. Сварочные позиции

1	Все позиции
2	Плоский стыковой шов и H/V : угловой шов
3	Только плоский

Примечание: Не со всеми электродами из категории 1 можно осуществлять сварку в вертикаль-вниз позиции

Испытание по Изоду образца V-обр.надр (фут-фунт)	Радиографич. стандарт
20 ft.lbs at -20°F	Марка 2
20 ft.lbs at -20°F	Марка 2
Не требуется	Не требуется
Не требуется	Марка 2
Не требуется	Марка 1
Не требуется	Не требуется
20 ft.lbs at -20°F	Марка 2
Не требуется	Марка 2
20 ft.lbs at -20°F	Марка 1
20 ft.lbs at -20°F	Марка 1
20 ft.lbs at -20°F	Марка 1
Не требуется	Марка 2
20 ft.lbs at 0°F	Марка 2

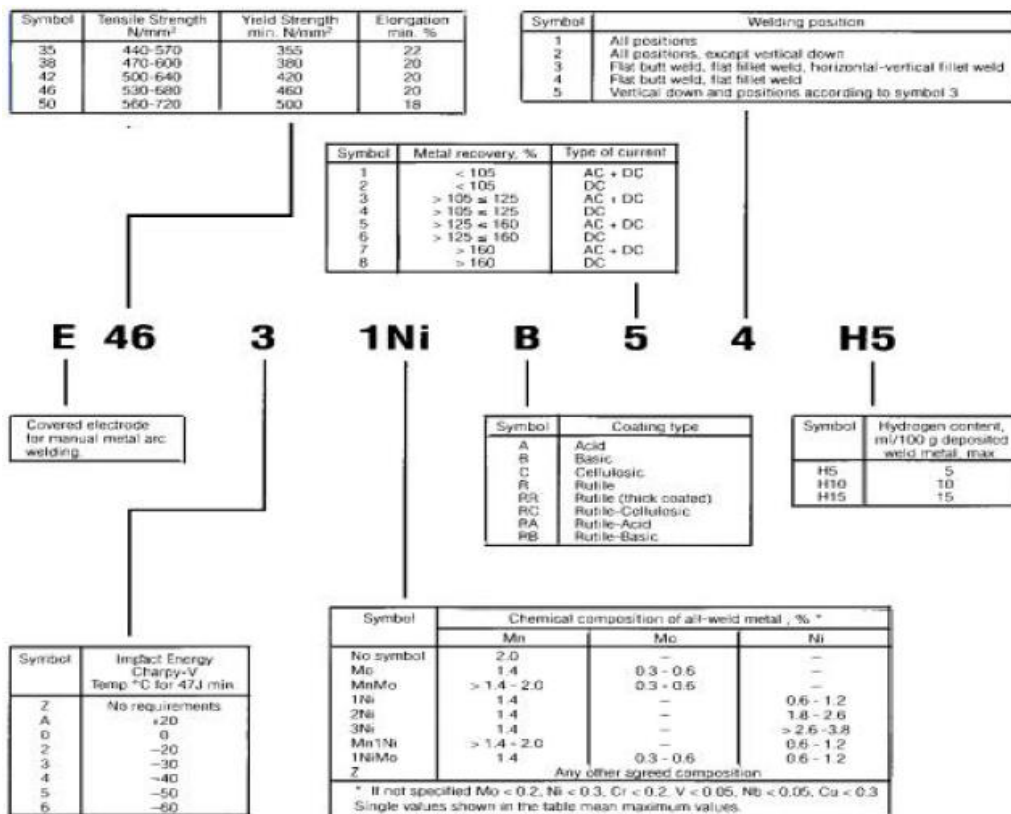
С Электродное покрытие и электрические характеристики

Код	Покрытие	Тип тока
Exx10	Целлюлозное/органическое	DC + только
Exx11	Целлюлозное/органическое	ACили DC+
Exx12	Рутитовое	ACили DC-
Exx13	Рутитовое + 30% Fe порошок	ACили DC+/-
Exx14	Рутитовое + Fe порошок	ACили DC+/-
Exx15	Основное	DC + только
Exx16	Основное	ACили DC+
Exx18	Основное + 25% Fe порошок	ACили DC+
Exx20	Высокое содержание оксида Fe	ACили DC+/-
Exx24	Рутитовое + 50% Fe порошок	ACили DC+/-
Exx27	Минеральное + 50% Fe порошок	ACили DC+/-
Exx28	Основное + 50% Fe порошок	ACили DC+

D AWS A5.5 низколегир. стали

Символ	Примерная наплавка
A1	0.5%Mo
B1	0.5%Cr + 0.5%Mo
B2	1.25%Cr + 0.5%Mo
B3	2.25%Cr + 1.0%Mo
B4	2.0%Cr + 0.5%Mo
B5	0.5%Cr + 1.0%Mo
C1	2.5%Ni
C2	3.25%Ni
C3	1%Ni + 0.35%Mo + 0.15%Cr
D1/2	0.25-0.45%Mo + 0.15%Cr
G	0.5%Ni и/или 0.3%Cr и/или 0.2%Mo и/или 0.1%V
Для G необходим только 1 элемент	

Таблиця 1.4 Система класифікації електродів EN ISO 2560 [4].



1.8 Зварювальні джерела живлення (обладнання)

Основне завдання джерел живлення - це отримання електричного струму, що за своїми характеристиками підходить для виконання зварювальних робіт, шляхом перетворення струму промислової частоти.

Джерела живлення зварювальної дуги – спеціальний електротехнічний пристрій для живлення зварювальної дуги електричним струмом.

Використовувати на пряму з мережі напругу у нас не вийде, у зв'язку з тим, що струм у мережі змінний і маленький за величиною, а напруга велика. Часто необхідний постійний струм з можливістю вибору полярності. Для таких цілей і потрібне джерело живлення зварювальної дуги.

На сьогоднішній день усі джерела живлення повинні відповідати наступним основним вимогам:

- мати наявності плавне регулювання режимів зварювання у всьому діапазоні;
- мати прилади для контролю режимів зварювання;
- Забезпечувати стабільне горіння дуги;
- Мати високі динамічні характеристики;

- відповідати основним вимогам щодо електробезпеки.

Наявність плавного регулювання та приладів контролю забезпечує точне налаштування необхідних режимів зварювання.

Динамічні властивості зварювального апарату визначаються часом відновлення напруги холостого ходу після короткого замикання у процесі зварювання. Чим швидше відновлюється напруга, тим краще її динамічні характеристики. Відновлення має перевищувати 0,05с.

Для підвищення стабільності горіння дуги можуть додатково застосовуватися осцилятори. Вони перетворюють низьку напругу промислової частоти в імпульси високої напруги та високої частоти. Накладення цих імпульсів на дуговий період підвищує стійкість горіння дуги [11], [12].

1.8.1 Зварювальні обладнання, що використовуються, такі як:

ESAB RC500 Реостат баластний (регулятор зварювального струму);

ESAB LCF 2400 Випрямляч зварювальний;

ESAB Mobile Feed 300 AVS Механізм подачі дугової напруги/дроту;

Miller XMT 425 CC/CV Auto line Багатофункціональне джерело зварювального струму; ESAB A2 Multitrac зварювальний автомат;

Miller Arcreach suitcase 12 Wire Feeder/пристрій подачі дроту;

Lincoln Electric Idealarc DC-655 зварювальний інвертор;

Newarc RT5000 Інверторний зварювальний апарат.

1) Багатопостовий зварювальний випрямляч LCF 2400

Багатопостовий зварювальний випрямляч LCF 2400 - це зварювальний апарат, призначений для роботи спільно з кількома зварювальними баластними реостатами. Дозволяє організувати від одного джерела до шести зварювальних постів. Випрямляч зварювальний багатопостовий LCF 2400 призначений для роботи кількох зварювальників одночасно.

Цей зварювальний випрямляч, коли переважають стаціонарні зварювальні установки, і кожен зварювальник живиться від джерела.

Можна вибрати три різні напруги холостого ходу: 50, 55 і 60В, при цьому підключення 50В означає мінімальні витрати енергії.

Технічні характеристики:

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри(габарити) - Висота 1434мм / Довжина 1020мм / Ширина 870мм

Рейтинг ефективності (Максимальний струм ефективності) – 95%

Вхідна напруга – частота 50Гц / Напруга 400В

Зварювальна потужність - Робочий цикл

Характеристики харчування

Напруга холостого ходу - 50 - 60В змінного струму

Коефіцієнт потужності при максимальному струмі – 0,95

Потужність розімкнутого ланцюга Вт - 1000Вт

Клас захисту - IP22

Мережевий кабель – 4х120. [13]

2) ESAB RC500 Реостат баластний (регулятор зварювального струму)

Технічні характеристики:

Напруга живлення - 60В

Напруга холостого ходу, DC (Max) - 35

Розміри(габарити) - Довжина 540мм / Ширина 400мм / Висота 450мм

Вага – 32кг. [14]

3) Newarc RT5000 Інверторний зварювальний апарат

Технічні характеристики:

Напруга живлення (В) – 380 – 480В, 3 фази 50/60 Гц

Вхідний струм при максимальному виході-33 ампера

Потужність - 25 кВА

Розміри(габарити) - Довжина 570мм / Ширина 310мм / Висота 450мм

Рекомендований мережевий запобіжник – 40А, інерційний або автоматичний вимикач типу С МСВ.

Мережевий кабель - Гнучкий кабель 4 х 4,0 мм²

Коефіцієнт потужності – 0,95

Максимальний вихідний струм – 500 ампер

Напруга розімкнутого ланцюга - > 90В

Контроль струму - 25 - 500А, безступінчасте регулювання

Робочий цикл при 40°C - 60% за 500А / 100% за 400А

Розмір електрода – 1,6 – 6,3

					ДП.131.4121з.05.01. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клас ізоляції – F

Вага – 37кг. [15]

4) ESAB Mobile Feed 300 AVS Механізм подачі дугової напруги/дроту

Mobile Feed 300AVS - механізми, що подають з живленням від зварювального струму. Розроблені для роботи з джерелами DC CC або CV (з крутопадаючою або жорсткою характеристикою).

Механізм подачі дроту MobileFeed 300 AVS із живленням від зварювального струму розрахований на жорсткі умови роботи.

Зручний у використанні з джерелами живлення постійного струму та постійної напруги із прямою (DC-) або зворотною (DC+) полярністю.

Технічні характеристики:

Напруга живлення, DC - 16,5-100; Макс. маса дроту на котушці – 18кг.; Макс. діаметр котушки – 300мм; Швидкість подачі дроту – 1,3-20,3 м/хв; Розміри (Д х Ш х В) – 526x217x437мм; Маса – 14,5кг.; Діаметр дроту: вуглецева сталь – 0,8-1,6; нержавіюча сталь – 0,8-1,6; порошковий дріт – 1,2-2,0; Робоча температура – від -10 до +40 °C; Клас захисту – IP23. [16]

1.9 Мета роботи: Розробка та атестація технологічних процесів зварювання

ЗАВДАННЯ

1. План для розробки та атестації технологічних процесів зварювання.
2. Розрахунок режимів зварювання ручного, напівавтоматичного та автоматичного дугового.
3. Дослідження/розробка та атестація технологічних процесів зварювання.
4. Висновок за результатами – специфікація зварювальної процедури (WPS).
5. Техніка безпеки.
6. Охорона праці та охорона навколишнього середовища.
7. Економічний розрахунок.

					ДП.131.41213.05.01. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МЕТОДИКА АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

загальні положення- коли конструкція та герметичні деталі виготовляються за допомогою зварювання, дуже важливо, щоб усі зварні з'єднання були якісними та мали характеристику, що відповідає їх подальшому застосуванню. Контроль якості зварювання досягається за допомогою специфікації (технічних умов) зварювальної процедури (WPS), в яких даються чіткі вказівки щодо вимог до зварювання, які повинні бути дотримані, щоб зварні з'єднання мали необхідні властивості.

2.1 Специфікації для атестації зварювальних процедур

У практичному виробництві, як правило, використовуються атестовані WPS. Зварювальна процедура зазвичай буває атестаційною, коли виготовляється зварний зразок для демонстрації відповідності якості зварювання вимогам, заданим застосовуваними стандартами (клієнтом або споживачем). Головною метою атестації процедури є демонстрація механічних властивостей з'єднання, а також не менш важливим є те, що в результаті виконання процедури зварне з'єднання без будь-яких дефектів. Робочі зварні шви, виконані відповідно до зварювальних умов, схожі зі швами, що використовуються для пробних швів, які повинні мати схожі властивості, і, відповідно, відповідати вимогам при подальшому застосуванні. У таблиці 2.1 показаний приклад типової WPS, складеної відповідно до формату стандартів зі зварювання, в якій надається інформація про всі вимоги, які мають бути дотримані.

Таблиця 2.1 Типова послідовність при атестації зварювальних процедур виходячи з випробувального зварного шва.

Інженер-зварювальник складає попередню специфікацію зварювальної технології для кожного пробного зразка під зварювання

- Зварювальник виконує пробний зразок з'єднання згідно з попередньою специфікацією зварювальної технології.

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МЕТОДИКА АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ		
Студент	Радімов						
Керівник	Костін						
Консул.							
Н. Контр.							
Зав.каф.	Драган				НУК ім. адм. Макарова		
					Лім.	Арк.	Аркушів
						28	121

- Координатор зварювання або інша відповідальна особа документує умови зварювання, за яких виконується робота (вони також називаються «умови при виконанні зварювання», англ. as-run conditions).

Можлива необхідність запрошення незалежного екзаменатора або екзаменаційної комісії, або третьої особи, спостерігати за атестацією процедури.

Пробний зразок повинен бути підданий неруйнівним випробуванням (NDT) згідно з методикою, зазначеною в Стандарті – візуальне інспектування, MT або PT та RT або UT

- Пробний зразок повинен бути підданий руйнівним випробуванням (на розрив при розтягуванні, на вигин, макро-випробування).

- Норми чи галузеві стандарти, чи клієнт можуть, вимагати додаткові випробування на твердість, ударну міцність або опір корозії – залежно від матеріалу та застосування

Протокол атестації процедури зварювання (WPQR) готується інженером-зварювальником із зазначенням:

- умов при виконанні зварювання

- результатів NDT

- результатів руйнівних випробувань

- умов при виконанні зварювання, допустимих для промислового зварювання

- У разі залучення третьої особи чи інспектора, цей інспектор має буде підписати WPQR як доказ проведення випробування.

2.2 Стандарти технології зварювання для атестації процедур

Європейські та Американські стандарти розроблені для детального опису наступних аспектів:

- Як повинен бути зроблений зразок для того, щоб наочно показати властивості зварного з'єднання.

- Яким чином зразок має бути підданий випробуванням.

- Яка інформація про зварювання має бути включена до WPS.

- види виробничого зварювання, що допускаються відповідно до певного атестованого випробування зварного шва [17].

Основними Європейськими стандартами, що вимагають дотримання даних вимог, є:

EN ISO 15614 Технічні вимоги та оцінка процедур зварювання

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металеві матеріали. Випробовування процедур зварювання.

Частина 1. Дугове та газове зварювання сталі, та дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів.

Частина 2. Дугове зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів [18].

Основними Американськими стандартами при атестації зварювальних процедур є:

ASME Розділ IX Для герметизованих систем (трубопроводи та судини) [19].

AWS D1.1 Зварювання сталевих будівельних конструкцій; AWS D1.2 Зварювання алюмінієвих будівельних конструкцій; AWS D1.6 Правила зварювання конструкцій нержавіюча сталь [20].

2.3 Процес атестації зварювальних процедур

Хоча більшість атестованих WPS зазвичай ґрунтуються на пробних зварних швах, які виготовляються для демонстрації властивостей зварних з'єднань, стандарти зварювання також допускають складання атестованих зварювальних процедур для спеціальних застосувань на основі додаткових даних.

Існують альтернативні способи, які використовуються для атестації WPS у деяких застосуваннях:

- Атестація шляхом адаптації стандартних зварювальних процедур – раніше атестовані та задокументовані іншими виробниками зварні зразки.
- Атестація, заснована на досвіді раніше виконаного зварювання – зварні з'єднання, неодноразово виконані і, отже, мають необхідними властивостями згідно з досвідом їх експлуатації.

2.3.1 Зв'язок між протоколом атестації зварювальної процедури (WPQR) та специфікацією зварювальної процедури (WPS).

При складанні WPQR інженер-зварювальник повинен вміти скласти специфікації для атестації зварювальних процедур (WPS) для різного застосування в промисловості.

Умови зварювання, дозволені для запису атестованої WPS, називаються допустимим режимом зварювання (областю атестації), і ця область залежить

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умов зварювання, що використовуються для випробувального зразка, і є частиною WPQR.

Умови зварювання в Європейських та Американських стандартах називаються параметрами режиму зварювання та поділяються на основні та другорядні параметри та можуть бути визначені наступним чином:

- Основні параметри

Це параметри, що впливають на механічні властивості зварного виробу і якщо виходять за рамки, вказані стандартами, процедура WPS повинна бути атестована заново.

- Другорядні параметри

Це параметри, які мають бути вказані у WPS, але які не надають помітного впливу на механічні властивості зварного виробу та можуть бути змінені без повторної атестації процедури, але при цьому вимагають складання нових WPS.

Причина полягає в тому, що основні параметри можуть серйозно вплинути на механічні властивості тим, що вони контролюють параметри при визначенні допустимого режиму зварювання, а також при складанні вимог для WPS.

Якщо зварювальник виробляє зварний виріб за умов, що виходять за рамки допустимого режиму зварювання, встановленого в певній WPS процедурі, то існує небезпека того, що зварний виріб не матиме необхідних властивостей, і в цьому випадку існують два варіанти:

Виготовити ще один випробувальний зварний шов за подібних умов, що застосовуються при виготовленні невідповідного зварного шва, і піддати тим же випробуванням згідно з відповідним протоколом WPQR для того, щоб продемонструвати, що отримані властивості задовольняють зазначеним вимогам. Видалити невідповідний зварний шов і виготовити новий, суворо відповідно до вказівок WPS. Більшість основних параметрів режиму зварювання однакові в Європейських та Американських стандартах, але при цьому допустимий режим зварювання може змінюватись. У деяких стандартів для певних готових виробів існують свої основні параметри і важливо

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

враховувати ці вимоги під час атестації процедур та написання WPS [17].

2.4 Режим зварювання є основним елементом технологічного процесу зварювання тієї чи іншої конструкції чи виробу. Від правильного вибору його значною мірою залежить якість зварного з'єднання, продуктивність та економічна ефективність технологічного процесу зварювання загалом.

У практиці найбільш широко вибір параметрів режиму зварювання виробляють за різними таблицями та номограмами, побудованими на підставі великої кількості експериментів. Однак номограми та таблиці не містять інформації про такі важливі та необхідні для технолога відомості, як: розміри та форма шва, частка участі основного металу у формуванні шва, температура та швидкість охолодження металу шва та навколошовної зони, тривалість його витримки у небезпечному інтервалі температур хімічний склад металу верба, механічні властивості металу шва тощо. Тільки наявність зазначених відомостей дозволяє з кількох варіантів вибрати найоптимальніший, що забезпечує не тільки відсутність дефектів, але й найбільш сприятливі властивості міцності і експлуатаційні при найбільшій продуктивності і економічності.

Вибір оптимальних режимів зварювання повинен базуватися на порівнянні вказаних кількісних показників кількох варіантів, а це найпростіше і об'єктивно можна зробити розрахунковим шляхом. Тому оволодіння розрахунковими методами визначення режиму зварювання, розмірів та форми шва, швидкості охолодження металу шва та навколошовної зони, тривалості витримки металу шва у небезпечному інтервалі температур тощо. є важливим завданням для інженера-зварювальника.

Розрахунок режиму зварювання роблять у два етапи. На першому розраховують параметри режиму зварювання, виходячи з умов одержання швів з оптимальними розмірами та формою, що забезпечують як високу технологічну міцність, так і високі експлуатаційні характеристики, тобто хороше формування шва. На другому етапі розрахунку уточнюють одержані на першому етапі параметри режиму зварювання, виходячи з отримання такого термічного циклу, який забезпечить оптимальні властивості зони термічного впливу

ЗТВ та металу шва. При цьому необхідно, щоб новий режим зварювання

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечував нормальне формування зварного шва.

1) Методика випробувань, на підставі якої буде проводитися дослідження руйнівного та неруйнівного контролю (якісних та кількісних) випробувань зварного з'єднання, такі випробування як візуальний контроль, ультразвуковий, магнітопорошковий, радіографічний контроль, випробування на розтяг, бічний, кореневий та облицювальний вигин, макрошліф, твердість, Шарпі.

2) Методика розрахунку, викладена у методичних вказівках, застосовна до розрахунку режимів дугового зварювання покритими електродами, під флюсом й у захисних газах [21].

У цій роботі застосовані такі терміни з відповідними визначеннями:

Зварювання: процес отримання нероз'ємних сполук за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що з'єднуються, при їхньому місцевому або загальному нагріванні, або пластичним деформуванням, або спільній дії того й іншого.

Зварюваність: властивість матеріалу утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, що відповідає вимогам, зумовленим конструкцією та експлуатацією виробу.

Методику випробувань

Позначення та скорочення

$I_{св}$ – сила струму;

U_d - напруга дуги;

$V_{св}$ – швидкість зварювання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

F_n - загальна площа поперечного перерізу наплавленого металу;

F_p – площа поперечного перерізу наплавленого металу за проходи;

n – число проходів;

j – допустима щільність струму;

d_e – діаметр електрода;

α_n - коефіцієнт наплавлення;

γ – щільність наплавленого металу;

η_i – ефективний коефіцієнт нагрівання виробу дугою;

					ДП.131.4121з.05.02. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S – товщина виробу, що зварюється [22].

Висновки

1. Режим зварювання є основним елементом технологічного процесу зварювання тієї чи іншої конструкції чи виробу. Від правильного вибору його значною мірою залежить якість зварного з'єднання, продуктивність та економічна ефективність технологічного процесу зварювання загалом.

2. Основні параметри, це параметри, які впливають на механічні властивості зварного виробу і, якщо виходять за рамки, вказані стандартами, процедура WPS повинна бути повторно атестована.

					<i>ДП.131.4121з.05.02. ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА ТА АТЕСТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Розрахунок режимів- При ручному дуговому зварюванні покритими електродами основними параметрами режиму зварювання є діаметр електрода, сила зварювального струму, напруга дуги, рід струму, полярність, швидкість зварювання, площа поперечного перерізу шва, що виконується за один прохід чи кількість проходів та ін.

Оскільки марку електрода вибирають, виходячи з властивостей основного металу, такі параметри режиму зварювання, як рід струму, полярність, коефіцієнт наплавлення встановлюють за паспортними даними електрода [21].

План для розробки та атестації технологічних процесів зварювання

Ціль: Метою даного плану випробувань є атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 25,4мм відповідно до вимог позиції 2G/PC.

Процес зварювання: Ручне дугове зварювання покритими електродами (SMAW/MMA).

Код та специфікація: AWS D1.1/PMPC

Тестова пластина та зварювальні матеріали:

а) Випробувальна пластина

Матеріал -вуглецева сталь класу EN36

Товщина пластини – 25,4мм

Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C для EN36
(додаток - 34 Джоуля 0 ° C для EN36, 34 Джоуля -20 ° C для EN36).

б) Зварювальні матеріали

Дріт присадковий - ESAB OK 48.04, E7018 (3.2 мм і 4.0 мм)

Класифікація - SFA/AWS A5.1

Таблиця 3.1 Типовий хімічний склад наплавленого металу електродів та механічні властивості металу шва

					ДП.131.41213.05.03. ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ТА АТЕСТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ				Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент	Рагімов											35	121
Керівник.	Костін								НУК ім. адм. Макарова				
Консул.													
Н. Контр.													
Зав.каф.	Драган												

Класифікація	Хімічний склад	Механічні властивості наплавленого металу
SFA/AWS A5.1:ESAB OK 48.04,E7018 EN ISO 2560-A: E 42 4 B 32 H5	C-0,06 Si-0,4 Mn-1,2 P max 0,030S max 0,030	Межа плинності: 480 МПа Межа міцності: 560 МПа Відносне подовження: ~30% В'язкість: - 20°C 150 Дж/см2 -40°C 125 Дж/см2

Таблиця 3.2 Типовий хімічний склад та механічні властивості основного металу

Клас	C %	Si %	Mn загального призначення %	P %	S %	Al (розчинна кислота), хв %	Сертифікат від сертифікаційної	V	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo
ЕН36	0,18	0,10-0,50	0,90-1,60	0,035	0,035	0,015	0,02-0,05	0,05-0,10	0,02	0,35	0,2	0,4	0,08
Клас	Товщина (мм)	Межа плинності (МПа)	Міцність на Розтягування (МПа)	Подовження (%)	Мін енергія зовнішнього впливу								
ЕН36	8 мм-50 мм	Мін 355Мра	490-620Мра	21%	-40			34дж					
	51 мм-70 мм	Мін 355Мра	490-620Мра	21%	-40			41дж					
	71 мм-100 мм	Мін 355Мра	490-620Мра	21%	-40			50дж					
Мінімальна Енергія удару-Поздовжня енергія													

Тестування та перевірка:

а) Огляд

Візуальний огляд

Ультразвуковий контроль

Магнітопорошковий контроль

Рентгенографічний контроль

б) Механічні випробування

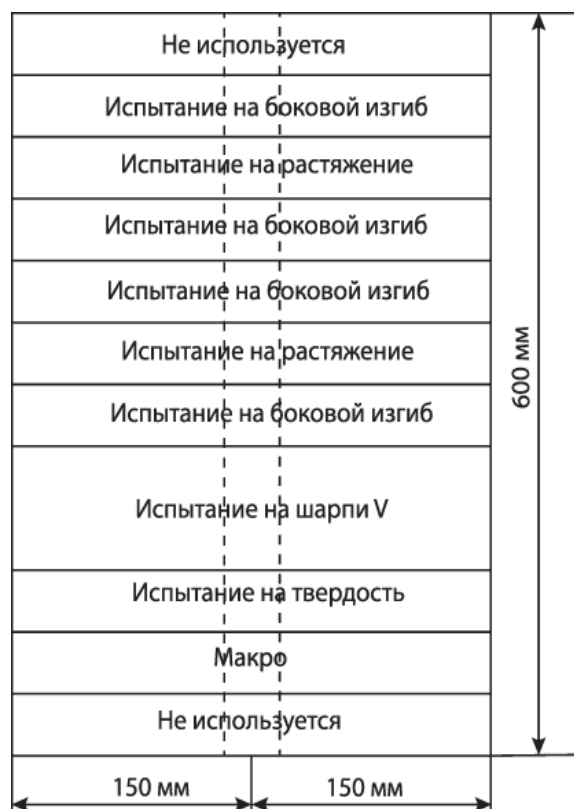
Випробування на розтяг - 2 зразки

Випробування на бічний вигин - 4 об.

Макросріз - 1 зразок

Випробування на твердість – 1 зразок

Випробування на шарпі з V-подібним вирізом (CVN)



ПОЛОЖЕННЯ:

Таблиця 3.3 Розташування тестових зразків.

Наплавлений метал -1х3 зразка

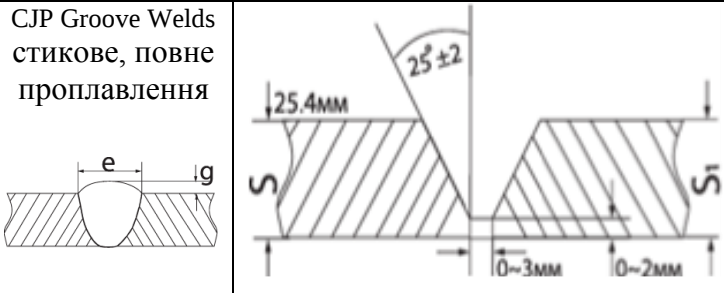
Лінія плавлення - 1х3 зразка

2 мм від лінії плавлення – 1х3 зразка

5 мм від лінії плавлення – 1х3 зразка

Зварювання здійснюємо без підкладок і за кілька проходів, тому що потрібно забезпечити провар та формування кореня шва. Перший прохід (корінь шва) виконуємо електродом діаметром 3,2 мм, усі наступні проходи виконуються електродом діаметром 4 мм [23].

Таблиця 3.4 Геометричні розміри зварного шва та підготовлених кромок під зварювання.

Умовне позначення зварного елемента	Конструктивні елементи підготовлених кромок деталей, що зварюються відповідно до ГОСТ 5264-80 С17	S	e	g	g
CJP Groove Welds стикове, повне проплавлення		Номінал.	перед. вимкнути.	Номінал.	перед. вимкнути.
		25.4 мм	34 ±3мм	3 мм	+0.5 -3мм

1) Визначимо силу зварювального струму

Розрахунок сили зварювального струму при зварюванні покритими електродами здійснюється залежно від діаметра електрода та допустимої щільності струму.

Силу зварювального струму визначаємо за такою формулою:

$$I_{CB} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j, \quad (3.1)$$

Де, d_e - Діаметр електродного стрижня, мм;

j – щільність струму, А/мм²

Тоді сила струму для електродів діаметром 3 мм дорівнює:

Підставляємо значення у формулу (3.1):

$$I_{CB1.1} = \frac{3.14 \cdot 3^2}{4} \cdot 13 = 92A$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$I_{CB1.2} = \frac{3.14 \cdot 3^2}{4} \cdot 18.5 = 131A$$

Приймаємо $I_{CB1} = 110A$

Для електродів діаметром 4 мм:

Підставляємо значення у формулу (3.1):

$$I_{CB2.1} = \frac{3.14 \cdot 4^2}{4} \cdot 10 = 126A$$

$$I_{CB2.2} = \frac{3.14 \cdot 4^2}{4} \cdot 14.5 = 182A$$

Приймаємо $I_{CB2} = 160A$.

j - допустима щільність струму, А/мм², таблиця 3.5

Таблиця 3.5 Допустима щільність струму в електроді при ручному дуговому зварюванні покритими електродами

Вид покриття	j , А/мм ² в електроді при d_e , мм			
	3.2	4	5	6
Кисле(А) та Рутилове(Р)	14 – 20	11.5 – 16	10 – 13.5	9.5 – 12.5
Основне (Б)	13 – 18.5	10 – 14.5	9 – 12.5	8.5 – 12.0
Целюлозна(Ц)	12.7 – 16.9	9.6 – 13.6	8.2 – 9.7	-

Примітка: при зварюванні в положеннях, відмінних від нижнього, з метою поліпшення формування шва зварювальний струм зменшують у порівнянні з розрахунковими на 10-20% за формулою 3.1.

2) Площа поперечного перерізу металу, що наплавляється за перший прохід

При зварюванні швів стикового з'єднання площа поперечного перерізу металу, що наплавляється за один прохід, при якому забезпечуються оптимальні умови формування, має становити не більше 30 мм², для першого проходу при зварюванні кореня шва та не більше 40 мм² для наступних проходів.

Скористаємося формулою визначення першого проходу:

$$F_{П1} = (6 \dots 8) \cdot d_e, \quad (3.2)$$

Підставляємо значення у формулу (3.2):

$$F_{П1.1} = 6 \cdot 3 = 18 \text{ мм}^2$$

$$F_{П1.2} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $F_{П1} = 18 \text{ мм}^2$

3) Площа поперечного перерізу металу, що наплавляється за наступний проходи

$$F_{П2} = (8 \dots 12) \cdot d_3, \quad (3.3)$$

Підставляємо значення у формулу (3.3):

$$F_{П2.1} = 8 \cdot 4 = 32 \text{ мм}^2$$

$$F_{П2.2} = 12 \cdot 4 = 48 \text{ мм}^2$$

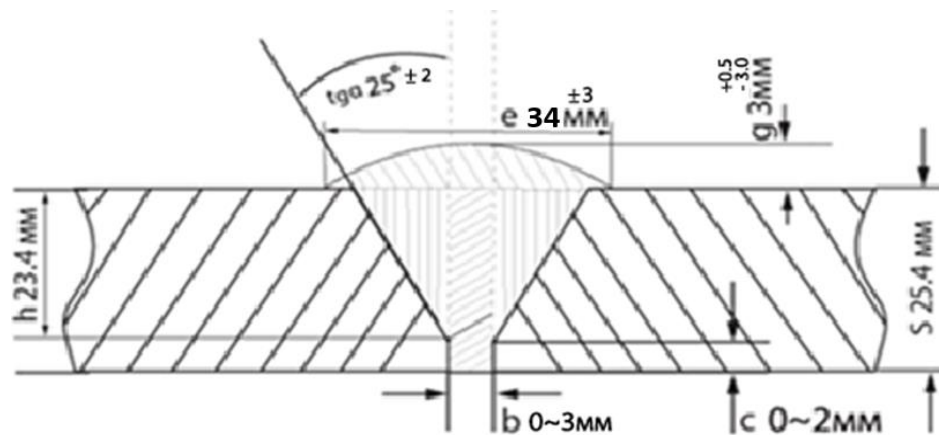
Приймаємо $F_{П2} = 32 \text{ мм}^2$

4) Визначимо площу поперечного перерізу наплавленого металу за формулою

$$F_H = h^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + b \cdot S + 0.75 \cdot g \cdot e, \quad (3.4)$$

Де S, b, e, g, h, α і c – розміри конструктивних елементів зварного з'єднання (рисунок 3.1):

Малюнок 3.1 Геометричні елементи площі перерізу стикового шва при ручному дуговому зварюванні покритими електродами



Підставляємо значення у формулу (3.4):

$$F_H = 23.4^2 \cdot \operatorname{tg} 25^\circ + 3 \cdot 25.4 + 0.75 \cdot 3 \cdot 34 = 258 + 76.2 + 72 = 406.2 \text{ мм}^2$$

Загальну площу поперечного перерізу наплавленого та розплавленого металу знайдемо за формулою:

$$F = 0.75 \cdot e \cdot (S + g), \quad (3.5)$$

F – площа поперечного перерізу

S – товщина металу (мм)

e – ширина валика зварювального шва (мм)

g – висота посилення валика (мм)

Підставляємо значення у формулу (3.5)

$$F = 0.75 \cdot 34 \cdot (25.4 + 3) = 724.2 \text{ мм}^2$$

Знаходимо площу поперечного перерізу проплавленого металу по формулі:

$$F_{\text{пр}} = F - F_{\text{н}}, \quad (3.6)$$

Підставляємо у формулу (3.6):

$$F_{\text{пр}} = 724.2 - 406.2 = 318 \text{ мм}^2$$

Знаходимо необхідну кількість проходів для забезпечення заданої геометрії шва:

$$n = \frac{F_{\text{н}} - F_{\text{п1}}}{F_{\text{п2}}} + 1, \quad (3.7)$$

Підставляємо значення у формулу (3.7):

$$n = \frac{406.2 - 18}{32} + 1 = 12.1 + 1 = 13.1$$

Приймаємо число проходів 13.

5) Визначимо напругу на дузі

Визначимо напругу дуги за формулою:

$$U_{\text{д}} = 20 + 0.04 \cdot I_{\text{св}}, \quad (3.8)$$

Підставляємо значення у формулу (3.8):

Для електродів діаметром 3 мм:

$$U_{\text{д1}} = 20 + 0.04 \cdot 110 = 24.4 \text{ В}$$

Приймаємо $U_{\text{д1}} = 25 \text{ В}$

Для електродів діаметром 4 мм:

Підставляємо значення у формулу (3.8):

$$U_{\text{д2}} = 20 + 0.04 \cdot 160 = 26.4 \text{ В}$$

Приймаємо $U_{\text{д2}} = 27 \text{ В}$

Примітка: Напруга дуги при ручному дуговому зварюванні змінюється у порівняно вузьких межах і при проектуванні технологічних процесів зварювання вибирається на підставі рекомендацій сертифікату на дану марку.

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродів [24].

6) Визначимо швидкість зварювання

Швидкість дугового зварювання покритими електродами зазвичай визначається і

контролюється побічно за необхідними розмірами одержуваного шва та може бути визначена за формулою:

$$V_{\text{CB}} = \frac{\alpha_{\text{H}} \cdot I_{\text{CB}}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{\text{П}}}, \quad (3.9)$$

де α_{H} - коефіцієнт наплавлення, г/А · год; $\alpha_{\text{H}} = 9.5$ г/А · год;

γ – щільність металу, що наплавляється $\gamma = 7,8$ г/см³;

$F_{\text{П}}$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу за цей прохід 18 та 32 мм².

Підставляємо значення у формулу (3.9):

для електродів діаметра 3 мм:

$$V_{\text{CB1}} = \frac{9.5 \cdot 110}{3600 \cdot 7.8 \cdot 18 \cdot 10^{-2}} = \frac{1045}{5054,4} \approx 0.21 \text{ см/с} \approx 7.56 \text{ м/ч} \approx 126 \text{ мм/мин}$$

для електродів діаметра 4 мм:

$$V_{\text{CB2}} = \frac{9.5 \cdot 160}{3600 \cdot 7.8 \cdot 32 \cdot 10^{-2}} = \frac{1520}{8985,6} \approx 0.16 \text{ см/с} \approx 5,76 \text{ м/ч} \approx 96 \text{ мм/мин}$$

7) Визначимо погонну енергію при зварюванні

Для обчислення величини зварювальних деформацій та деяких інших розрахунків буває необхідно врахувати тепловий вплив на метал, що зварюється, що визначається погонною енергією.

Погонна енергія визначається за такою формулою:

$$q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{эф}}}{V_{\text{CB}}} = \frac{I_{\text{CB}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{и}}}{V_{\text{CB}}}, \quad (3.10)$$

V_{CB} - швидкість переміщення зварювальної дуги, см / с

Отже, погонна енергія, за формулою (3.10):

для електродів діаметром 3 мм дорівнює:

$$q_{\text{п1}} = \frac{110 \cdot 25 \cdot 0.8}{0.21} = \frac{2200}{0.21} = 10476 \text{ Дж/см} = 1.05 \text{ кДж/мм}$$

Розрахуємо погонну енергію для електродів діаметром 4 мм:

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{n2} = \frac{160 \cdot 27 \cdot 0.8}{0.16} = \frac{2112}{0.13} = 21600 \text{ Дж/см} = 2,16 \text{ кДж/мм}$$

η_i - ефективний К.П.Д. дуги; для дугових способів зварювання він дорівнює,
 $\eta_i = 0,6 \div 0,9$; покритими електродами на постійному струмі 0.75...0.85;
 [21; 23; 24]

3.2 Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (SMAW)

Вплив хімічних елементів, що входять до основного металу, може бути значним. Не враховувати цього не можна. Роль хімічного складу зварювальних матеріалів також очевидна, тому що підбором можна регулювати хімічний склад та механічні властивості металу шва у найширших межах.

Зміст елемента, що розглядається в металі шва визначається на підставі правила змішування за формулою:

$$R_{ш} = R_o \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot R_e \pm \Delta R, \quad (3.11)$$

Де, $R_{ш}$ - зміст елемента, що розраховується, %;

R_o - вміст того самого елемента в основному металі, %;

$(1 - \gamma)$ - частка участі електродного металу у металі шва, %;

R_e - вміст елемента, що розраховується в металі, наплавленим даною маркою електродів, %;

γ - частка участі основного металу у металі шва;

ΔR -перехід даного металу з покриття або газу в шов [24].

1) Розрахунок для шва, отриманого ручним дуговим зварюванням покритими електродами

Визначимо частку участі основного металу у металі шва за формулою:

$$\gamma = \frac{F_{пр}}{F_{пр} + F_H}; \quad (3.12)$$

Де, F_H - площа перерізу наплавленого металу;

$F_{пр}$ - Площа перерізу проплавленого металу.

У такому разі розраховуємо за формулою (3.12):

$$\gamma = \frac{318}{318 + 406} = \frac{318}{724} \approx 0.44$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того щоб визначити хімічний склад наплавленого металу необхідно знати хімічний склад електродного металу, яким буде проводитися зварювання. Ці дані представлені у таблиці 3.1.

2) Визначаємо хімічний склад металу шва для ручного дугового.

зварювання за формулою 3.11:

$$R_{\text{ш}}(\text{C}) = 0.18 \cdot 0.44 + (1 - 0.44) \cdot 0.06 = 0.11\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Mn}) = 0.44 \cdot 1.3 + (1 - 0.44) \cdot 1.2 = 1.24\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Si}) = 0.50 \cdot 0.44 + (1 - 0.44) \cdot 0.40 = 0.44\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{S}) = 0.025 \cdot 0.44 + (1 - 0.44) \cdot 0.030 = 0.027\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{P}) = 0.025 \cdot 0.44 + (1 - 0.44) \cdot 0.030 = 0.27\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Cr}) = 0.20 \cdot 0.44 = 0.088\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Ni}) = 0.40 \cdot 0.44 = 0.17\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Cu}) = 0.35 \cdot 0.44 = 0.15\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Mo}) = 0.08 \cdot 0.44 = 0.035\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Ti}) = 0.02 \cdot 0.44 = 0.0088\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Al}) = 0.015 \cdot 0.44 = 0.0066\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Nb}) = 0.05 \cdot 0.44 = 0.022\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{V}) = 0.10 \cdot 0.44 = 0.044\%$$

Типовий хімічний склад наплавленого металу, виготовлений електродами марки ESAB OK 48.04, E7018 по SFA/AWS A5.1. Оскільки, визначаючи хімічний склад металу шва, ми використовуємо типовий хімічний склад наплавленого металу, значення ΔR ми не враховуємо.

3) Визначення механічних характеристик металу шва

Визначення механічних характеристик металу шва, виконаного ручним дуговим зварюванням

Межа міцності шва:

$$\sigma_{\text{в}} = 4,8 + 50\text{C} + 25,2\text{Mn} + 17,5\text{Si} + 23,9\text{Cr} + 7,7\text{Ni} + 17,6\text{Cu}, \quad (3.13)$$

$$\sigma_{\text{в}} = 4,8 + 50 \cdot 0,11 + 25,2 \cdot 1,24 + 17,5 \cdot 0,44 + 23,9 \cdot 0,088 + 7,7 \cdot 0,17 + 17,6 \cdot 0,15 \approx 549 \text{ МПа}$$

Відносне подовження шва:

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta = 50,4 - [21,8C + 15Mn + 4,9Si + 2,4Ni + 5,8Cr + 6,2Cu], \quad (3.14)$$

$$\delta = 50,4 - [21,8 \cdot 0,11 + 15 \cdot 1,24 + 4,9 \cdot 0,44 + 2,4 \cdot 0,17 + 5,8 \cdot 0,088 + 6,2 \cdot 0,15] \approx 26\%$$

Межа плинності шва:

$$\sigma_m = 0,73 \cdot \sigma_B = 0,73 \cdot 565 \approx 401 \text{ МПа} \quad (3.15)$$

Відносне поперечне звуження:

$$\varphi = 2,32 \cdot \delta = 2,32 \cdot 26 \approx 61\% \quad (3.16)$$

4) Визначаємо структуру сталі

Визначення структури сталі здійснюється за діаграмою Шеффлер (рисунок 3.2). Для цього спочатку для сталі розраховуються еквівалентні значення хрому та нікелю:

Еквівалентне значення хрому:

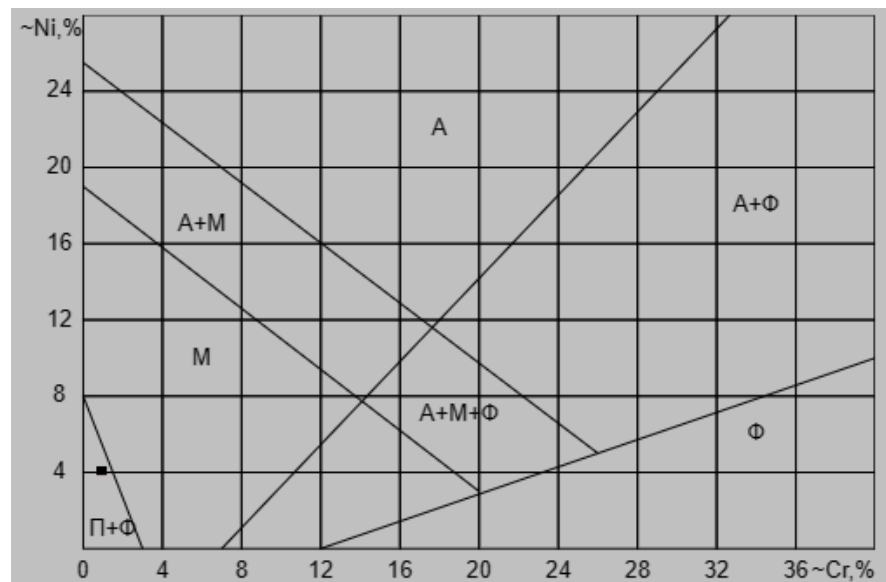
$$Cr_{\text{ЭКВ}} = Cr + Mo + 2 \cdot Ti + 2 \cdot Al + Nb + 1,5 \cdot Si + V, \quad (3.17)$$

$$Cr_{\text{ЭКВ}} = 0,088 + 0,035 + 2 \cdot 0,0088 + 2 \cdot 0,0066 + 0,022 + 1,5 \cdot 0,44 + 0,044 = 0,88\%$$

Еквівалентне значення нікелю:

$$Ni_{\text{ЭКВ}} = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn, \quad (3.18)$$

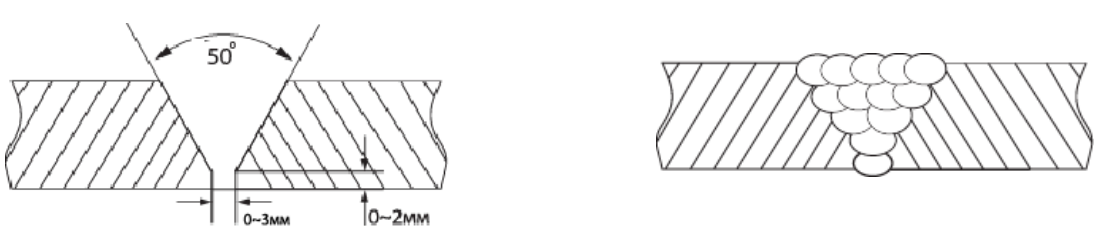
$$Ni_{\text{ЭКВ}} = 0,17 + 30 \cdot 0,11 + 0,5 \cdot 1,24 = 4,09\%$$



Малюнок 3.2 Діаграма Шеффлера

3.3 Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (SMAW)

Форми та розробка звітів щодо кваліфікації процесу зварювання (WPQR)
процес зварювання 111.

ПРОТОКОЛ АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ			SMAW/MMA
WPQR No.: 001		SMAW/WPS-001	
Виробляється зварювання: Емін Рагімов (C001)		Кодта специфікація: AWS D1.1/PMPC	
Процес зварювання: SMAW/MMA (111)		Зварювальна позиція: 2G/PC горизонтальна	
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EH36		Товщина листа: 25.4мм	
		Тип з'єднання: Стикове	
Основний матеріал:			
Марка сталі: EH36/PEC36 / номер плавки 240361-3			
Випробування на розтягування: 549		Межа плинності: 401 N/mm ²	
Значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN): 129 Джоуля -40°C			
Матеріал для наповнювача:	Класифікація	Діаметр дроту (мм)	Торгова марка
Корінь: ESAB OK 48.04, E7018	SFA/AWS A5.1	3.2	ESAB
Заповнення / облицювання: ESAB OK 48.04, E7018	SFA/AWS A5.1	4	ESAB
Попереднє нагрівання:	Навколишній	зварювальне обладнання	ESAB
захисні гази: N/A	Продувний газ: N/A	Витрата газу: N/A	
Звіт з неруйнівного контролю			
Візуальний огляд: Пройдено/ Рапорт звіту RT: RT-WPQR-01			
Рапорт звіту UT: UT-WPQR-01 / Рапорт звіту MPI: MPI-WPQR-01			
Звіти механічних випробувань			
Протокол випробувань на розтягування: Розтягування WPQR-001			
Протокол випробувань на бічний вигин: Вигин WPQR-001 / Макросріз: Макро WPQR-01			
Випробування на шарпі (-40 градусів): CNVWPQR-01 / Випробування на твердість: Твердість WPQR-01			
Типова схема підготовки			
			
Допуск кута канавки: (+10, -5)			
Техніка			
Метод попереднього нагріву: газовий		Вимірювач: цифровий портативний термометр	
Підготовка кромок: газове різання та шліфування		Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дріт'яна щітка	
Зворотній строжка: N/A		Техніка зварювання:	
Попереднє нагрівання:			

Товщина пластини		Температура попереднього нагріву				Міжпрохідна температура		
До 19 мм		Розігріти, та видалити вологу				230C Макс.		
від 19.0 мм до 38 мм		65C				230C Макс.		
Від 38 мм до 63.5 мм		100C				230C Макс.		
Більше 63.5		150C				230C Макс.		
Параметри зварювання:								
Кількість проходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер(А)	Вольт(В)	Швидкість (мм/хв)	Погонна енергія (кДж/мм)	Температура попереднього / Міжпрохідна температура
Корінь	SMAW	DC+	3.2	110	25	126	1.05	67 C
Заповнення	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	75 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	87 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	98 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	131 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	135 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	122 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	119 C
Облицювання	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	129 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	133 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	128 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	114 C
	SMAW	DC+	4	160	27	96	2.16	108 C

3.3 Малюнок. Атестація технологічного процесу зварювання [25].



3.4 Звіт з неруйнівного контролю (SMAW)

3.4.1 Звіт ультразвукового випробування

ЗВІТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОБУВАННЯ									№ UT-WPQR-01	
Найменування проекту WPQR-001										
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація										
тип обладнання	USM 35X S/N: 19647	Дата калібрування	19.02.2023-18.02.2024	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36					
Стандарт випробувань	AWS D.1.1/PMPC	Об'єкт, що перевіряється	Тестовий зразок	Малюнок №	—					
Калібрувальний блок	V1, V2, DAC	Процес зварювання	SMAW/MMA (111)	Товщина	25.4 мм					
Критерії приймання				AWS D1.1/PMPC						
Проба									Ультразвуковий кабель	
Номер	Назва	Серійний номер	Значення X (мм)	α (о)	Д(мм)	Ф(МГц)	Чутливість (дБ)	Сканування (дБ)	Тип	Довжина (мм)
1	M B2S	01525	—	0	10	4	36	42	Gmbh MPKL2 50486	2000
2	AN 4045	56351	—	45,4	10	4	36	42	—	—
3	AN 4045	56349	8	44,4	8x9	4	31	37	—	—
4	AN 4060	56358	10	58,9	8x9	4	31	37	—	—
3	AN 4070	56361	11	70,6	8x9	4	54	60	—	—
Підсумки за результатами										
Оператор/зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Тип недоліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/підсумок		
C001	2G/PC Горизонтальна	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25.4 мм	600 мм	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято		

3.4.2 Звіт магнітопорошкової дефектоскопії

ЗВІТ МАГНІТОПОРОШКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ					№ MPI-WPQR-01			
Найменування проекту WPQR-001								
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація								
Тип обладнання	AC Yoke JA Y/220 S/N: 0520	Дата калібрування	11.04.2023 - 10.04.2024	Процес зварювання	SMAW/MMA (111)			
Біла Контрастна фарба	WCP-2	Чорне індикаторне чорнило	7HF	Сухий порошок	—			
Тип намагнічування	AC	Тестовий блок	4,5 кг №: 044	Метод	Вологий			
Стандарт випробувань	AWS D. 1.1/PMPC	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Товщина	25.4 мм			
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами								
Оператор/зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Тип недовліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/підсумок
C001	2G/PC Горизонтальна	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25.4 мм	600 мм	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято

3.4.3 Звіт радіографічного випробування

ЗВІТ РАДІОГРАФІЧНОГО ВИПРОБУВАННЯ					№ RT-WPQR-01
Найменування проекту WPQR-001					
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація					
Джерело	X-RAY	Розмір джерела	2,5 x 2 мм	Активність	—
Розмір плівки	236x7,62 дюйми	Тип плівки	Карстрім T200	Товщина екрану	0,125 x 0,125 мм
Відстань до вихідної плівки	800 мм	Час контакту	446 сек.	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36
Час розробки	5 хв	Температура	20 °C	Тип IQI	ASTM IB-6
Чутливість	<2%	Процес зварювання	SMAW/MMA (111)		

Стандарт випробувань		AWS D 1.1/Правила PMPC класифікації та спорудження морських суден							
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Найменування та тип дефектів									
Пористість	ПЗ	Неповне проникнення	НП	Дуговий удар	ДК				
Групова пористість	ДП	Відсутність злиття	ОС	Крім міді	КМ				
Кластерна пористість	КП	Відсутність злиття бічний стінки	ОСБС	пропалив	ПР				
Внутрішній підріз	ВТП	Внутрішня увігнутість	ВВ	Вольфрамові включення	ВВ				
Зовнішній підріз	ВШП	Червоточина	ЧР						
Шлакові включення	ШВ	Надмірне проникнення	НП						
Оксидні включення	ОВ	Тріщини	ТР						
Підсумки за результатами									
Оператор/зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Щільність плівки	Тип недоліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/підсумок
C001	2G/PC Горизонтальна	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25.4 мм	600 мм	2,4-2,6	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято

3.5 Звіти механічних випробувань (SMAW)

3.5.1 Звіт випробувань на вигин

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ВИГИБ				№BEND-WPQR-01					
Найменування проекту WPQR-001									
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація									
тип обладнання	МУП-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	ДТ 101				
Процес зварювання	SMAW/MMA (111)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Пластина 600x300x25.4 мм				
Зварювальна позиція	2G/PC Горизонтальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25.4 мм				
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Підсумки за результатами									
№	Оператор/зварювальник	Опис	Товщина	Ширина	Тип вигину	Радіус оправлення	Відстань ролика	Кут	Результат/підсумок

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					49

1	C001	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25,4мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
2			25,4мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
3			25,4мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
4			25,4мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено



Примітка: 4 зразки було використано на бічний вигин

3.5.2 Звіт випробувань на твердість

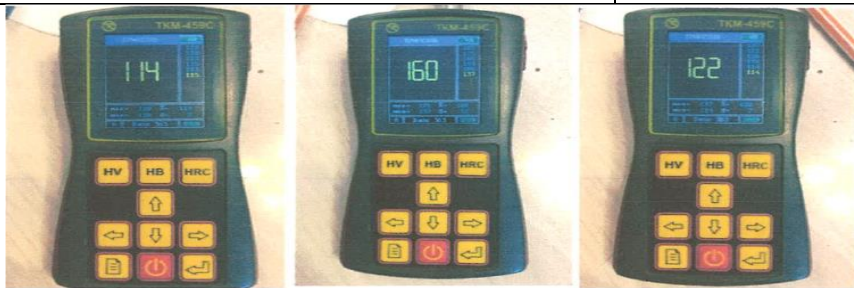
ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ТВЕРДІСТЬ			№ HARDNESS-WPQR-01		
Найменування проекту WPQR-001					
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація					
тип обладнання	ТКМ-459С (Серійний №17004)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36
Проб. Тип та серійний номер	UCI/ 16292	Об'єкт, що перевіряється	Тестовий зразок для WPQR	Процес зварювання	SMAW/MMA (111)
Одиниця вимірів	НВ	Калібрувальний блок	ZIP N393/ZIP N367/ZIP N345	Товщина	25.4 мм
Стандарт випробувань		AWS D1.1/PMPC			
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC			
Підсумки за результатами					

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.131.4121з.05.03. ПЗ

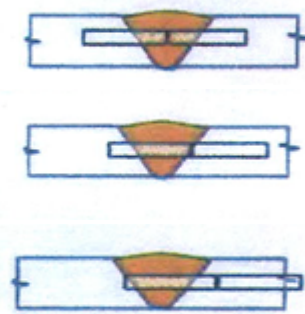
Арк.

50

WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	Опис	Оператор/ зварювальни	Зварювальна позиція	ЗТВ 1			середня величина	Зварювальн ий шов	середня величина	ЗТВ 2			середня величина		
C001		2G/PC	Горизонтальна	118	110	113	113	166	171	169	168	137	121	126	128
Ескіз об'єкта контролю									Результат/Підсумок - Прийнято						
															
Примітка: Зона термічного впливу (HAZ)															

3.5.3 Випробування на шарпі з V-подібним вирізом (CVN)

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ШАРПІ З V-ОБРАЗНИМ ВИРІЗОМ (CVN)				№ IMPACT-WPQR-01		
Найменування проекту WPQR-001						
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація						
тип обладнання	UTC-0450	Дата калібрування	13.02.2023-12.02.2024	Заводський номер	17/002811	
Процес зварювання	SMAW/MMA (111)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм	
Зварювальна позиція	2G/PC Горизонтальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25.4 мм	
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC				
Підсумки за результатами						
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Температура Випробувань	Випробування на удар Шарпі (J)(CVN)	Результат/Підсумок
1	C001	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	10x10x55 мм	- 40	149,80 165,49 179,74 172,31 188,33 197,70 179,25 185,09 199,11	Прийнято

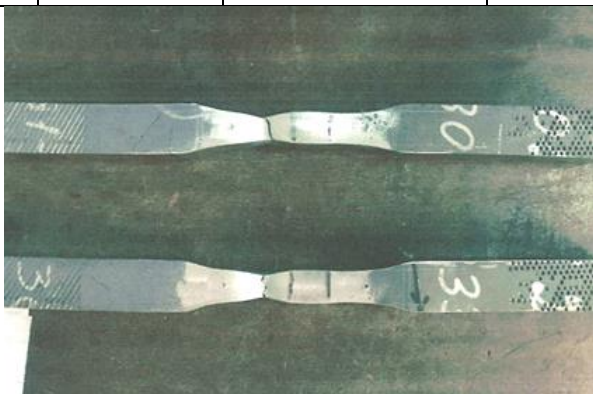
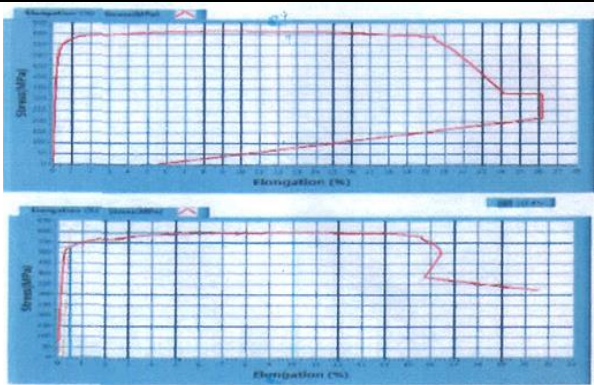


Примітка: 12 зразків було використано на Шарпі (CVN)

3.5.4 Звіт макротесту

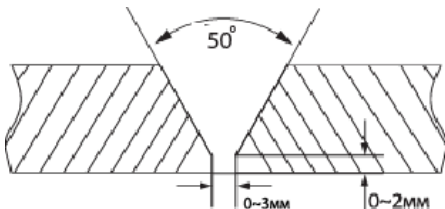
ЗВІТ МАКРО-ТЕСТА					№ MACRO-WPQR-01	
Найменування проекту WPQR-001						
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація						
Видатковий матеріал	ESAB OK 48.04, Основний E7018 - Діаметр 3.2 мм та 4.0 мм					
Процес зварювання	SMAW/MMA (111)	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм	
Зварювальна позиція	2G/PC Горизонтальна	Стандарт випробувань	ICO 17639 AWS D1.1/PMPC	Товщина	25.4 мм	
Критерії приймання			ISO 6520-1/ AWS D1.1/ PMPC			
Підсумки за результатами						
№	Оператор / зварювальник	Опис	Номер плавки	Батьківська група	Результат/ Підсумок	
1	C001	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EH36, номер плавки 240361-3	240361-3	Група 1 (Підрозділи 1 та 2)	Прийнято	
Примітка: 1Макро-зразок						

3.5.5 Звіт випробувань на розтягування

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТАГАННЯ				№ TENSILE-WPQR-01			
Найменування проекту WPQR-001							
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація							
тип обладнання	P-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	1359-331		
Процес зварювання	SMAW/MMA (111)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм		
Зварювальна позиція	2G/PC Горизонтальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25.4 мм		
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами							
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Межа пластичності $\sigma_0.2$, МПа	Межа міцності при розтягуванні σ_b , МПа	Подовження δ , %	Результат/Підсумок
1	C001	WPQR-001 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	100x25, 4мм	401,30	549,20	26,09	Прийнято
2	C001		100x25, 4мм	401,10	549,30	26,10	Прийнято
 							
Примітка: 2 зразки було використано на розтягування							



3.6 Специфікація зварювальної процедури (WPS/SMAW)

СПЕЦИФІКАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ(WPS)		SMAW/MMA	
WPS No.: 001			
Підтримується WPQR. 1		Кодта специфікація: AWS D1.1	
Процес зварювання: SMAW/MMA		Зварювальні позиції, що допускаються:2G(PC), 1G, 2F & 1F	
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EN36 чи еквівалентні.		Відповідний діапазон товщини: від 3 мм до необмеженого.	
		Тип з'єднання: Стикове	
Основний матеріал:			
Марка сталі: Вуглецева сталь марки A, B, D, AН36, DН36, EN36 або еквівалентна.			
Межа міцності: (400-620) Н/мм2.		Межа плинності: (235–355) Н/мм2	
Значення CVN: 34 Джоуля при 0°С для АН36, 34 Джоуля при -20°С для DН36 та 34 Джоуля при -40°С для EN36.			
Матеріал для наповнювача:	Класифікація	Діаметр дроту (мм)	Торгова марка
ESAB ОК 48.04, E7018	SFA/AWS	3.2	ESAB
ESAB ОК 48.04, E7018	SFA/AWS	4	ESAB
Типова схема підготовки			
			
Допуск кута канавки: (+10, -5)			
Техніка			
Метод попереднього нагріву: газовий		Вимірювач: цифровий портативний термометр	
Підготовка кромок: газове різання та шліфування		Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дрітjana щітка	
Зворотній строжка: N/A		Техніка зварювання:	
Попереднє нагрівання:			
Товщина пластини	Температура попереднього нагріву		Міжпрохідна температура
До 19 мм	Розігріти, та видалити вологу		230С Макс.
від 19.0 мм до 38 мм	65С		230С Макс.

Від 38 мм до 63.5 мм			100оС			230оС Макс.		
Більше63.5			150оС			230оС Макс.		
Параметри зварювання для позицій 2G/PC, 1G/PA, 2F/PA & 1F								
КількістьП роходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер(А)	Вольт(В)	Швидкіст ь (мм/хв)	Погонна енергія (кджмм)	Торгова марка
Корінь 1	SMAW	DC+	3.2	99~121	22~28	94~157	1.05	ESAB OK 48.04, E7018
Заповнення 2-8	SMAW	DC+	4	144~176	23~29	72~120	2.16	
Облицювання 9- 13	SMAW	DC+	4	144~176	23~29	72~120	2.16	

Примітка: згідно з американським національним стандартом D1.1, таблицею 3.7, ми можемо регулювати силу струму, напругу та швидкість руху в певних проміжках (%) [20].

3.7 Розрахунок режимів при механізованому дуговому зварюванні самозахисним порошковим дротом у захисному газі

Механізоване дугове зварювання – зварювання, при якому здійснюється механічна подача порошкового зварювального дроту, що плавиться, і додатковий газовий захист від окислення (вуглекислий газ або його суміш з аргоном).

До параметрів режиму механізованого дугового зварювання в захисних газах, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм ($I_{св}$), напруга на дузі ($U_{д}$), швидкість зварювання ($V_{св}$), діаметр (d_e) і швидкість подачі електродного дроту ($V_{п.ел}$).

Інші параметри: захисне середовище (газове, шлакове, газослакове), рід і полярність струму, виліт електрода (l), кут нахилу електрода та виробу, початкова температура виробу, витрата флюсу або захисного газу і т.д. встановлюють, з умов зварювання конкретних виробів чи марки стали [21].

План для розробки та атестації технологічних процесів зварювання

Ціль: Метою даного плану випробувань є атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 25 мм згідно з вимогами позиції 3G/PF.

Процес зварювання: Напівавтоматичне дугове зварювання порошкове дротом захисному газі (FCAW 136).

Код та специфікація: AWS D1.1/PMPC

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тестова пластина та зварювальні матеріали:

а) Випробувальна пластина

Матеріал -вуглецева сталь класу EN36

Товщина пластини – 25 мм

Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C для EN36
(додаток - 34 Джоуля 0 ° C для EN36, 34 Джоуля -20 ° C для EN36).

б) Зварювальні матеріали

Дріт присадковий - CEKA LASER E71T-T-1CJ (1.2мм)

Класифікація - SFA/AWS A5.20

Тестування та перевірка:

а) Огляд

Візуальний огляд

Ультразвуковий контроль

Магнітопорошковий контроль

Рентгенографічний контроль

б) Механічні випробування

Випробування на розтяг - 2 зразки

Випробування на бічний вигин - 4
зразки

Макросріз - 1 зразок

Випробування на твердість – 1 зразок

Випробування на шарпі з V-подібним
вирізом (CVN)

ПОЛОЖЕННЯ:

Наплавлений метал -1х3 зразка

Лінія плавлення - 1х3 зразка

2 мм від лінії плавлення - 1х3зразка

5 мм від лінії плавлення - 1х3зразка

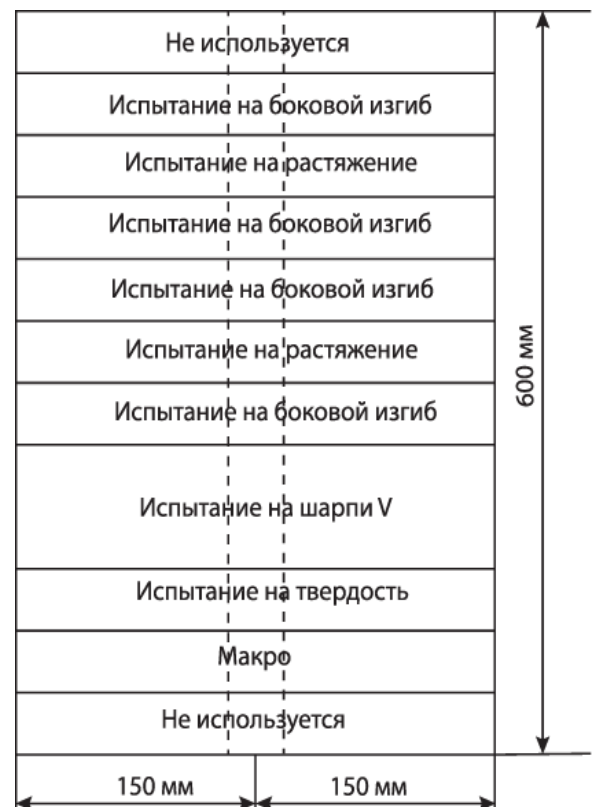


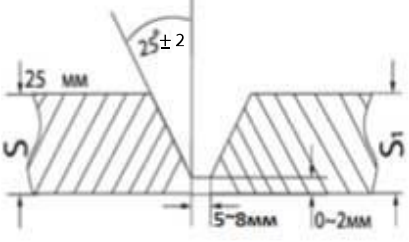
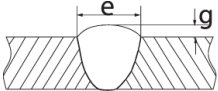
Таблица 3.6 Розташування тестових зразків.

Таблиця 3.7 Типовий хімічний склад наплавленого металу електродів та механічні властивості металу шва

Класифікація	Хімічний склад	Механічні властивості наплавленого металу
SFA/AWS A5.20 CEKA LASER E71T-T-1CJ (1.2мм)	C-0,03 Si-0,51 Mn-1,26~1,35 P max 0,010S max 0,011	Межа плинності: 545 МПа Межа міцності: 572 МПа Відносне подовження: 25~28% В'язкість: -30°C 85 Дж/см2 -40°C 60 Дж/см2

Зварювання здійснюємо з тимчасовою керамічною підкладкою та за кілька проходів, тому що потрібно забезпечити провар та формування кореня шва. Перший прохід (корінь шва) виконуємо електродом діаметром 1.2 мм, усі наступні проходи виконуються електродом такого самого діаметра 1.2 мм [23].

Таблиця 3.8 Геометричні розміри зварного шва та підготовлених кромок під зварювання.

Умовне позначення зварного елемента	Конструктивні елементи підготовлених кромок деталей, що зварюються згідно з ГОСТ 14771-76 C18	S	e	g	g
CJP Groove Welds стикове, повне проплавлення		Номінал.	перед. вимкн ути.	Номінал.	перед. вимкн ути.
		25 мм	32 ±3мм	3 мм	+0 -3мм

1) Для визначення числа проходів знайдемо загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу за формулою:

$$F_H = h^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + b \cdot S + 0.75 \cdot g \cdot e, \quad (3.19)$$

Підставляємо значення у формулу (3.19):

$$F_H = 23^2 \cdot \operatorname{tg} 25^\circ + 5 \cdot 25 + 0.75 \cdot 3 \cdot 32 = 247 + 125 + 72 = 444 \text{ мм}^2$$

12.3.1 Загальну площу поперечного перерізу, наплавленого та розплавленого металів, знайдемо за формулою:

$$F = 0.73 \cdot e(S + g) = 0.73 \cdot 32(25 + 3) \approx 654 \text{ мм}^2, \quad (3.19.1)$$

12.3.2 Знаходимо площу поперечного перерізу проплавленого металу за формулою:

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ		Арк.
							57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$F_{\text{пр}} = F - F_{\text{н}} = 654 - 444 = 210 \text{ мм}^2, \quad (3.19.2)$$

Знаходимо необхідну кількість проходів для забезпечення заданої геометрії шва:

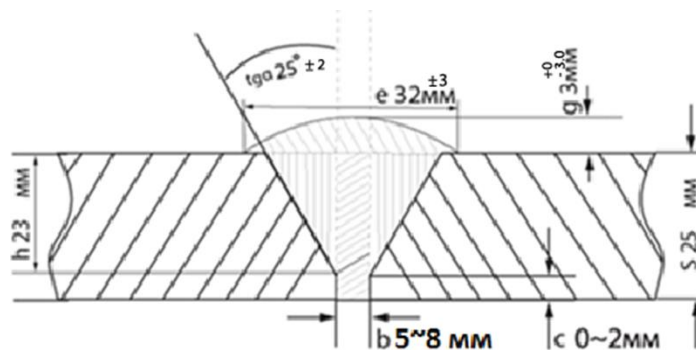
$$n = \frac{F_{\text{н}} - F_{\text{н1}}}{F_{\text{н2}}} + 1, \quad (3.20)$$

Підставляємо значення у формулу (3.20):

$$n = \frac{444 - 30}{50} + 1 = 8.6 + 1 = 9.6$$

Приймаємо число проходів 10.

Малюнок 3.4 Геометричні елементи площі перерізу стикового шва при механізованому дуговому зварюванні в захисному газі електродом, що плавиться.



При розрахунку параметрів режиму наплавлення слід врахувати рекомендації щодо кількості наплавленого металу за один прохід. Так при наплавленні серед захисних газів електродним дротом діаметром 1,2...1,4 мм площа поперечного перерізу першого проходу 20...30 мм², другого 30...60 мм², наступних 40...70 мм² [28].

Приймаємо площу наплавленого металу за один прохід, що дорівнює для першого проходу, для другого проходу і наступних проходів, згідно з рекомендаціями, приймаємо щільність зварювального струму j - 200 А/мм², і діаметр електродного дроту d_e 1,2 мм [29]. $F_{\text{н1}} = 30 \text{ мм}^2$ $F_{\text{н2}} = 50 \text{ мм}^2$

2) Силу зварювального струму $I_{\text{св}}$ розрахуємо за такою формулою:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j, \quad (3.21)$$

Підставляємо значення у формулу (3.21):

$$I_{\text{св}} = \frac{3.14 \cdot 1.2^2}{4} \cdot 200 = 226 \text{ А} \approx 200 \text{ А}$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Примітка: при зварюванні в положеннях, що відрізняються від нижнього, з метою покращення формування шва зварювальний струм зменшують у порівнянні з розрахунковими на 10-20% за формулою 3.21 [21].

3) Визначимо напругу на дузі

Визначимо напругу дуги за формулою:

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{CB} \pm 1, \quad (3.22)$$

Підставляємо значення у формулу (3.22):

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1.2}} \cdot 200 \pm 1 = 20 + \frac{50}{1095} \cdot 200 = 29 \pm 1B,$$

Приймаємо напругу 29 Ст.

4) Визначимо коефіцієнт форми провару:

$$\varphi_{пр} = K(19 - 0.01 \cdot I_{CB}) \frac{d_3 \cdot U_D}{I_{CB}}, \quad (3.23)$$

Підставляємо значення у формулу (3.23):

$$\varphi_{пр} = 0,92(19 - 0.01 \cdot 200) \frac{1,2 \cdot 29}{200} = 0,92 \cdot 17 \cdot 0,174 \approx 2.8$$

$$\varphi_{пр} = 2.8 \in (0.8 - 4.0)$$

Для автоматизованого наплавлення значення $\varphi_{пр}$ повинні становити 0.8...4.0, у разі, значення коефіцієнта перебуває у цьому інтервалі, отже, режими підібрані, вірно.

5) Визначимо швидкість наплавлення за формулою:

$$V_{CB} = \frac{\alpha_n \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n}, \quad (3.24)$$

Где, α_n – коефіцієнт наплавлення.

Для визначення коефіцієнта наплавлення α_n при автоматизованих способах скористаємося такою формулою:

$$\alpha_n = \alpha_p(1 - \varphi_{п}), \quad (3.25)$$

де - Коефіцієнт втрат, який визначається за формулою: $\varphi_{п}$

$$\varphi_{п} = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2, \quad (3.26)$$

Підставимо відомі значення щільності струму j у формулу (3.25),

отримаємо:

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varphi_{\Pi} = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 200 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 = 12,56\%$$

Для того, щоб визначити коефіцієнт наплавлення нам необхідно розрахувати коефіцієнт розплавлення за формулою: α_p

$$\alpha_p = 9,05 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{CB}} \cdot \frac{l_B}{d_9^2}, \quad (3.27)$$

Встановлюємо виліт електрода l_B . При зварюванні під флюсом виліт електрода вибирають у межах 70 - 80мм, при цьому меншим діаметром електрода відповідають менші значення вильоту та навпаки. При зварюванні у вуглецевому газі виліт електрода l_B вибирають у межах 10 - 20мм.

де l_B – виліт електрода; величину вильоту електрода l_B приймаємо 1,5см, згідно з рекомендацією [21; 30].

$$\begin{aligned} \alpha_p &= 9,05 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{200} \cdot \frac{1,5}{0,12^2} = 9,05 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot 14,14 \cdot 104,16 \\ &= 13,6 \text{ (г\А \cdot ч)} \end{aligned}$$

Тоді коефіцієнта наплавлення n згідно з формулою (3.25): α

$$\alpha_n = 13,6 (1 - 0,1256) \approx 12 \text{ (г\А \cdot ч)}$$

Визначимо швидкість наплавлення за формулою (3.24), отримаємо:

а) для першого проходу:

$$V_{CB1} = \frac{12 \cdot 200}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,3} = \frac{2400}{8424} \approx 0,28 \text{ см\с} \approx 10,3 \text{ м\ч} \approx 172 \text{ мм\мин}$$

б) для другого проходу:

$$V_{CB2} = \frac{12 \cdot 200}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,5} = \frac{2400}{14040} \approx 0,17 \text{ см\с} \approx 6,2 \text{ м\ч} \approx 104 \text{ мм\мин}$$

б) Визначаємо швидкість подачі електродного дроту за формулою:

$$V_{пэл} = \frac{\alpha_p \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{эл}}, \quad (3.28)$$

Визначаємо площу $F_{эл}$ електродного дроту:

$$F_{эл} = \frac{\pi \cdot d_9^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ см}^2, \quad (3.29)$$

Площа поперечного перерізу електрода, $F_{эл} = 1,13 \text{ см}^2$;

γ – густина електродного металу, 7,8 г/см³.

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо швидкість наплавлення за формулою (3.28), отримаємо:

$$V_{\text{пэл}} = \frac{13,6 \cdot 200}{3600 \cdot 7,8 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2}} = \frac{2720}{317,304} \approx 8,6 \text{ см\с} \approx 310 \text{ м\ч} \approx 5167 \text{ мм\мин}$$

7) Орієнтовно визначають витрату вуглекислого газу при зварюванні CO₂(л/хв).

$$Q_r = 10 + \frac{(I_{\text{CB}} - 30)}{51,3}, \quad (3.30)$$

Підставляємо значення у формулу (3.30):

$$Q_r = 10 + \frac{(200 - 30)}{51,3} = 13,32 \approx 14 \text{ л/мин}$$

8) Погонная енергія розраховується за такою формулою:

$$q_{\text{п}} = \frac{\eta_{\text{u}} \cdot I_{\text{CB}} \cdot U_{\text{д}}}{V_{\text{CB1}}}, \quad (3.31)$$

де η_{u} - ефективний коефіцієнт корисної дії нагріву виробу дугою, який при наплавленні в захисному газі становить 0.8...0.84, приймаємо $\eta_{\text{u}} = 0,84$.

а) для першого проходу:

$$q_{\text{п1}} = \frac{0,84 \cdot 200 \cdot 29}{0,28} = \frac{4872}{0,28} = 17400 \text{ Дж\см} = 1,74 \text{ кДж\мм}$$

б) для другого проходу:

$$q_{\text{п2}} = \frac{0,84 \cdot 200 \cdot 29}{0,17} = \frac{4872}{0,17} = 28659 \text{ Дж\см} = 2,87 \text{ кДж\мм}$$

9) Далі визначаємо глибину проплавлення Н за формулою:

Для перевірки правильності розрахунків при наплавленні в захисних газах визначаємо глибину проплавлення, підставивши отримані значення параметрів режиму формулу:

$$H = 0,0081 \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\varphi_{\text{пр}}}}, \quad (3.32)$$

Де, $q_{\text{п}}$ – погонна енергія.

Підставимо отримані значення формулу (3.32) і отримуємо значення глибини провара для першого проходу:

$$H_1 = 0,0081 \sqrt{\frac{17400}{2,8}} = 0,64 \text{ см}$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставимо отримані значення формулу (3.32) і отримуємо значення глибини провара для другого проходу:

$$H_2 = 0.0081 \sqrt{\frac{28659}{2.8}} = 0.84 \text{ см}$$

10) Визначення висоти валика

Висота валика визначається за такою формулою:

$$q = \frac{e}{\varphi_B} = \frac{2,4}{8} = 0,3 \text{ см}, \quad (3.33)$$

де, e – ширина шва;

– коефіцієнт форми посилення, що у межах $7 \dots 10 \cdot \varphi_B$

Знаючи глибину провару та коефіцієнт форми провару, визначимо ширину шва [31].

$$e = \varphi_{пр} \cdot H = 2,8 \cdot 0,84 \approx 2,4 \text{ см}, \quad (3.34)$$

11) Площа перерізу наплавленого металу

Площа перерізу наплавленого металу визначимо за такою формулою:

$$F_{нап} = 0,73 \cdot q \cdot e, \quad (3.35)$$

$$F_{нап} = 0,73 \cdot 2,4 \cdot 0,3 = 0,53 \text{ см}^2$$

3.8 Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (FCAW)

Вплив хімічних елементів, що входять до основного металу, може бути значним. Не враховувати цього не можна. Роль хімічного складу зварювальних матеріалів також очевидна, тому що підбором можна регулювати хімічний склад та механічні властивості металу шва у найширших межах.

Зміст елемента, що розглядається в металі шва визначається на підставі правила змішування за формулою:

$$R_{ш} = R_o \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot R_9 \pm \Delta R, \quad (3.36)$$

Де, $R_{ш}$ - зміст елемента, що розраховується, %;

R_o - вміст того самого елемента в основному металі, %;

$(1 - \gamma)$ - частка участі електродного металу у металі шва, %;

R_E - вміст елемента, що розраховується в металі, наплавленим

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даною маркою електродів, %;

γ - частка участі основного металу у металі шва;

ΔR -перехід даного металу з покриття або газу в шов.

1) Розрахунок для шва, отриманого механізованим зварюванням в середовищі захисних газів CO₂ самозахисним електродом, що плавиться

Визначимо частку участі основного металу у металі шва за формулою:

$$\gamma = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}}; \quad (3.37)$$

Де, $F_{\text{н}}$ - площа перерізу наплавленого металу;

$F_{\text{пр}}$ - Площа перерізу проплавленого металу.

У такому разі розраховуємо за формулою (3.37):

$$\gamma = \frac{210}{210 + 444} = \frac{210}{654} \approx 0.32$$

Для того щоб визначити хімічний склад наплавленого металу необхідно знати хімічний склад електродного металу, яким буде проводитися зварювання. Ці дані представлені у таблиці 3.7.

2) Визначаємо хімічний склад металу шва за формулою 3.36:

$$R_{\text{ш}}(\text{C}) = 0,32 \cdot 0,18 + (1 - 0,32) \cdot 0,03 = 0,078\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Mn}) = 0,32 \cdot 1,5 + (1 - 0,32) \cdot 1,26 = 1,33\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Si}) = 0,32 \cdot 0,5 + (1 - 0,32) \cdot 0,51 = 0,5\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{S}) = 0,32 \cdot 0,025 + (1 - 0,32) \cdot 0,011 = 0,015\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{P}) = 0,32 \cdot 0,025 + (1 - 0,32) \cdot 0,010 = 0,015\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Cr}) = 0,32 \cdot 0,2 = 0,064\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Ni}) = 0,32 \cdot 0,4 = 0,12\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Cu}) = 0,32 \cdot 0,35 = 0,11\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Mo}) = 0,32 \cdot 0,08 = 0,025\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Ti}) = 0,32 \cdot 0,02 = 0,0064\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Al}) = 0,32 \cdot 0,015 = 0,0048\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{Nb}) = 0,32 \cdot 0,05 = 0,016\%$$

$$R_{\text{ш}}(\text{V}) = 0,32 \cdot 0,1 = 0,032\%$$

Типовий хімічний склад наплавленого металу, виготовлений

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродами марки CEKA LASER E71T-T-1C по SFA/AWS A5.20. Оскільки, визначаючи хімічний склад металу шва, ми використовуємо типовий хімічний склад наплавленого металу, значення ΔR ми не враховуємо.

3) Визначення механічних характеристик металу шва

Визначення механічних характеристик металу шва, виконаного механізованим зварюванням

Межа міцності шва:

$$\sigma_B = 4,8 + 50C + 25,2Mn + 17,5Si + 23,9Cr + 7,7Ni + 17,6Cu, \quad (3.38)$$

$$\sigma_B = 4,8 + 50 \cdot 0,078 + 25,2 \cdot 1,33 + 17,5 \cdot 0,5 + 23,9 \cdot 0,064 + 7,7 \cdot 0,12 + 17,6 \cdot 0,11 \approx 554 \text{ МПа}$$

Відносне подовження шва:

$$\delta = 50,4 - [21,8C + 15Mn + 4,9Si + 2,4Ni + 5,8Cr + 6,2Cu], \quad (3.39)$$

$$\delta = 50,4 - [21,8 \cdot 0,078 + 15 \cdot 1,33 + 4,9 \cdot 0,5 + 2,4 \cdot 0,12 + 5,8 \cdot 0,064 + 6,2 \cdot 0,11] \approx 25,1\%$$

Межа плинності шва:

$$\sigma_m = 0,73 \cdot \sigma_B = 0,73 \cdot 554 \approx 405 \text{ МПа} \quad (3.40)$$

Відносне поперечне звуження:

$$\varphi = 2,32 \cdot \delta = 2,32 \cdot 25 \approx 58\% \quad (3.41)$$

4) Визначаємо структуру сталі

Визначення структури сталі здійснюється за діаграмою Шеффлер (рисунок 3.5). Для цього спочатку для сталі розраховуються еквівалентні значення хрому та нікелю:

Еквівалентне значення хрому:

$$Cr_{\text{экв}} = Cr + Mo + 2 \cdot Ti + 2 \cdot Al + Nb + 1,5 \cdot Si + V, \quad (3.42)$$

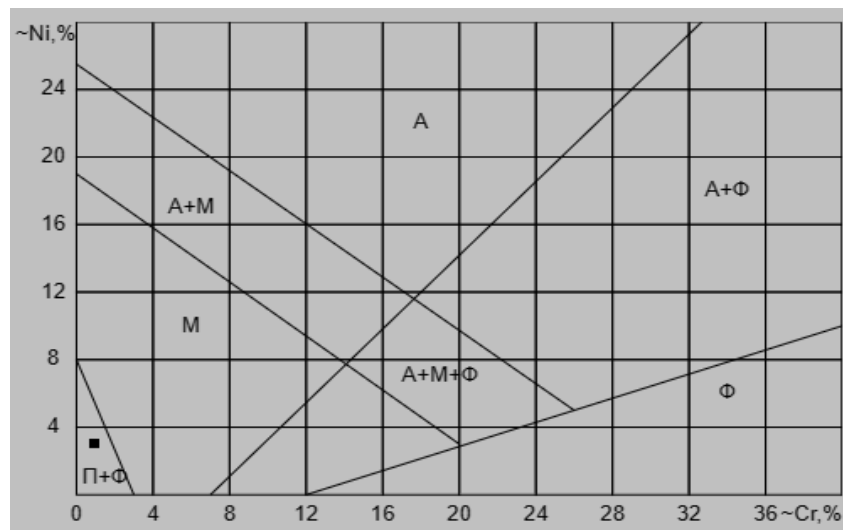
$$Cr_{\text{экв}} = 0,064 + 0,025 + 2 \cdot 0,0064 + 2 \cdot 0,0048 + 0,016 + 1,5 \cdot 0,5 + 0,032 = 0,9\%$$

Еквівалентне значення нікелю:

$$Ni_{\text{экв}} = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn, \quad (3.43)$$

$$Ni_{\text{экв}} = 0,12 + 30 \cdot 0,078 + 0,5 \cdot 1,33 = 3,13\%$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Малюнок 3.5 Діаграма Шеффлера

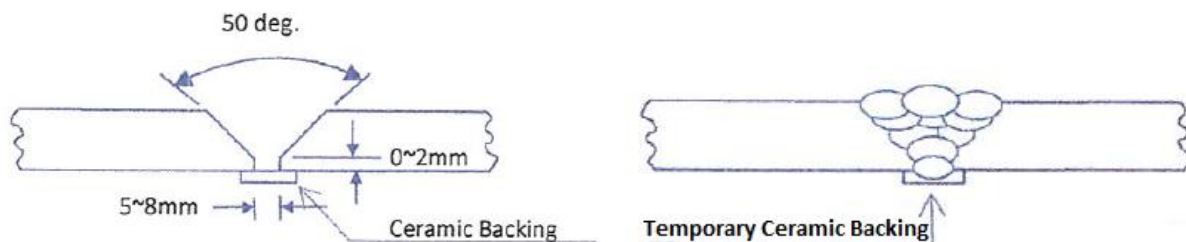
3.9 Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (FCAW)

Форми та розробка звітів щодо кваліфікації процесу зварювання (WPQR)
процес зварювання 136 FCAW - активний газ.

ПРОТОКОЛ АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ			FCAW
WPQR No.: 002		FCAW/WPS-002	
Вироблялася зварювання: Емін Рагімов (C001)		Кодта специфікація: AWS D1.1/PMPC	
Процес зварювання: FCAW (136) з керамічною підкладкою		Зварювальна позиція: 3G/PF Вертикальна	
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EH36		Товщина листа: 25 мм	
		Тип з'єднання: Стикове	
Основний матеріал:			
Марка сталі: EH36/PEC 36/номер плавки 240361-3			
Випробування на розтягування: 554		Межа плинності: 405 N/mm2	
Значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN): 128 Джоуля -40°C			
Матеріали для наповнювача:		Класифікація	Діаметр дроту (мм)
Корінь: CEKA LASER E71T-T-1CJ		SFA/AWS A5.20	1.2
Заповнення / облицювання: CEKA LASER E71T-T-1CJ		SFA/AWS A5.20	1.2
Попереднє нагрівання:		Навколишній	зварювальне обладнання
захисні гази: 100% CO2		Продувний газ: N/A	Витрата газу: 14 ~ 20 л/хв
Звіт з неруйнівного контролю			
Візуальний огляд: Пройдено/ Рапорт звіту RT: RT-WPQR-02			
Рапорт звіту UT: UT-WPQR-02 / Рапорт звіту MPI: MPI-WPQR-02			
Звіти механічних випробувань			
Протокол випробувань на розтягування: Розтягування WPQR-002			
Протокол випробувань на бічний вигин: Вигин WPQR-002 / Макросріз: Макро WPQR-02			

Випробування на шарпі (-40 градусів): CNVWPQR-02 / Випробування на твердість:
Твердість WPQR-02

Типова схема підготовки



Допуск кута канавки: (+10, -5)

Техніка

Метод попереднього нагріву: газовий	Вимірювач: цифровий портативний термометр
Підготовка кромок: газове різання та шліфування	Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дрітjana щітка

Зворотній стрижка: N/A Техніка зварювання: однопрохідна/багатопохідна

Попереднє нагрівання:

Товщина пластини	Температура попереднього нагріву	Міжпрохідна температура
До 19 мм	Розігріти, та видалити вологу	230C Макс.
Від 19.0 мм до 38 мм	65C	230C Макс.
Від 38 мм до 63.5 мм	100C	230C Макс.
Більше 63.5	150C	230C Макс.

Параметри зварювання:

Кількість проходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер (А)	Вольт (В)	Швидкість (мм/хв)	Погонна енергія (кДж/мм)	Температура попереднього / Міжпрохідна температура
Корінь	FCAW	DC+	1.2	200	28	172	1.74	67C
Заповнення	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	75 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	87 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	98 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	131 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	135 C
Облицювання	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	122 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	119 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	129 C
	FCAW	DC+	1.2	200	28	104	2.87	133 C

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.131.4121з.05.03. ПЗ

Арк.

66

3.10 Звітиз неруйнівного контролю (FCAW)

3.10.1 Звіт ультразвукового випробування

ЗВІТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОБУВАННЯ									№ UT-WPQR-02	
Найменування проекту WPQR-002										
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація										
тип обладнання	USM 35X S/N: 19647	Дата калібрування	19.02.2023- 18.02.2024	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36					
Стандарт випробувань	AWS D.1.1/P MPC	Об'єкт, що перевіряється	Тестовий зразок	Малюнок №	—					
Калібрувальний блок	V1, V2, DAC	Процес зварювання	FCAW (136)	Товщина	25 мм					
Критерії приймання				AWS D1.1/PMPC						
Проба									Ультразвукови й кабель	
Номер	Назва	Серійний номер	Значення X (мм)	α(о)	Д(мм)	Ф(МГц)	Чутливість (дБ)	Сканування (дБ)	Тип	Довжина (мм)
1	M B2S	01525	—	0	10	4	36	42	Gmbh MPKL2 50486	2000
2	AN 4045	56351	—	45,5	10	4	36	43	—	—
3	AN 4045	56349	8	44,5	8x9	4	31	36	—	—
4	AN 4060	56358	10	58,8	8x9	4	31	36	—	—
3	AN 4070	56361	11	70,7	8x9	4	54	59	—	—
Підсумки за результатами										
Оператор/ зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Тип недоліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/ підсумок		
C001	ЗГ/РФ Вертикальна	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25 мм	600 мм	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято		

3.10.2 Звіт магнітопорошкової дефектоскопії

ЗВІТ МАГНІТОПОРОШКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ					№ MPI-WPQR-02			
Найменування проекту WPQR-002								
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація								
Тип обладнання	AC Yoke JA Y/220 S/N: 0520	Дата калібрування	11.04.2023 - 10.04.2024	Процес зварювання	FCAW (136)			
Біла Контрастна фарба	WCP-2	Чорне індикаторне чорнило	7HF	Сухий порошок	—			
Тип намагнічування	AC	Тестовий блок	4,5 кг №: 044	Метод	Вологий			
Стандарт випробувань	AWS D. 1.1/PMPC	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Товщина	25 мм			
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами								
Оператор/зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Тип недовліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/підсумок
C001	3G/PF Вертикальна	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25 мм	600 мм	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято

3.10.3 Звіт радіографічного випробування

ЗВІТ РАДІОГРАФІЧНОГО ВИПРОБУВАННЯ					№RT-WPQR-02
Найменування проекту WPQR-002					
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація					
Джерело	X-RAY	Розмір джерела	2,5 x 2 мм	густина	2,4-2,6
Розмір плівки	236x7,62 дюйми	Тип плівки	Карстрім T200	Товщина екрану	0,125 x 0,125 мм
Відстань до вихідної плівки	800 мм	Час контакту	450 сек.	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36
Час розробки	5 хв	Температура	20 °C	Тип IQI	ASTM IB-6
Чутливість	<2%	Процес зварювання	FCAW (136)		

Стандарт випробувань		AWS D 1.1/Правила РМРС класифікації та спорудження морських суден							
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Найменування та тип дефектів									
Пористість	ПЗ	Неповне проникнення	НП	Дуговий удар	ДК				
Групова пористість	ДП	Відсутність злиття	ОС	Крім міді	КМ				
Кластерна пористість	КП	Відсутність злиття бічний стінки	ОСБС	пропалив	ПР				
Внутрішній підріз	ВТП	Внутрішня увігнутість	ВВ	Вольфрамові включення	ВВ				
Зовнішній підріз	ВШП	Червоточина	ЧР						
Шлакові включення	ШВ	Надмірне проникнення	НП						
Оксидні включення	ОВ	Тріщини	ТР						
Підсумки за результатами									
Оператор/зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Щільність швів	Тип недоліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/підсумок
C001	3G/PF Вертикальна	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25 мм	600 мм	2,4-2,6	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято

3.11 Звіти механічних випробувань (FCAW)

3.11.1 Звіт випробувань на вигин

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ВИГИБ				№BEND-WPQR-02					
Найменування проекту WPQR-002									
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація									
тип обладнання	МУП-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	ДТ 101				
Процес зварювання	FCAW (136)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Пластина 600x300x25.4 мм				
Зварювальна позиція	3G/PF Вертикальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25 мм				
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Підсумки за результатами									
№	Оператор/зварювальник	Опис	Товщина	Ширина	Тип вигину	Радіус оправлення	Відстань ролика	Кут	Результат/підсумок

1	C001	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	25 мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
2			25 мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
3			25 мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
4			25 мм	10мм	Бічний вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено

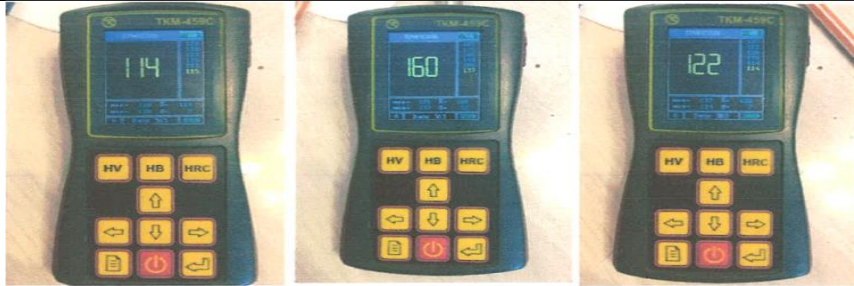


Примітка: 4 зразки було використано на бічний вигин

3.11.2 Звіт випробувань на твердість

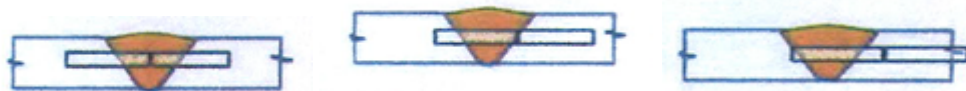
ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ТВЕРДІСТЬ			№ HARDNESS-WPQR-02		
Найменування проекту WPQR-002					
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація					
тип обладнання	TKM-459C (Серійний №17004)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36
Проб. Тип та серійний номер	UCI/ 16292	Об'єкт, що перевіряється	Тестовий зразок для WPQR	Процес зварювання	FCAW (136)
Одиниця вимірів	НВ	Калібрувальний блок	ZIP N393/ZIP N367/ZIP N345	Товщина	25 мм
Стандарт випробувань		AWS D1.1/PMPC			
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC			
Підсумки за результатами					

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опис	Оператор/ зварювальн	Зварювальна позиція	ЗТВ 1			середня величина	Зварювальний шов			середня величина	ЗТВ 2			середня величина														
WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу ЕН36, номер плавки 240361-3	C001	3G/PF Вертикальна	118	110	113	113	166	171	169	168	137	121	126	128														
	Ескіз об'єкта контролю														Результат/Підсумок - Прийнято													
																												
	Примітка: Зона термічного впливу (HAZ)																											

3.11.3 Випробування на шарпі з V-подібним вирізом (CVN)

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ШАРПІ З V-ОБРАЗНИМ ВИРІЗОМ (CVN)				№ IMPACT-WPQR-02		
Найменування проекту WPQR-002						
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація						
тип обладнання	UTC-0450	Дата калібрування	13.02.2023-12.02.2024	Заводський номер	17/002811	
Процес зварювання	FCAW (136)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм	
Зварювальна позиція	3G/PF Вертикальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25 мм	
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC				
Підсумки за результатами						
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Температура Випробувань	Випробування на удар Шарпі (J)(CVN)	Результат/Підсумок
1	C001	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	10x10x55 мм	- 40	149,80 165,49 179,74 172,31 188,33 197,70 179,25 185,09 199,11	Прийнято



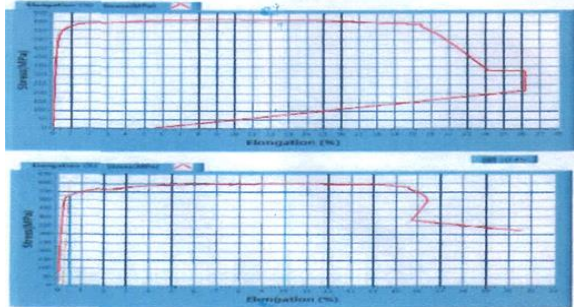
Примітка: 12 зразків було використано на Шарпі (CVN)

3.11.4 Звіт макротесту

ЗВІТ МАКРО-ТЕСТА					№ MACRO-WPQR-02	
Найменування проекту WPQR-002						
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація						
Видатковий матеріал	CEKA LASER E71T-T-1CJ- Діаметр 1.2 мм					
Процес зварювання	FCAW (136)	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм	
Зварювальна позиція	3G/PF Вертикальна	Стандарт випробувань	ICO 17639 AWS D1.1/PMPC	Товщина	25 мм	
Критерії приймання			ISO 6520-1/ AWS D1.1/ PMPC			
Підсумки за результатами						
№	Оператор / зварювальник	Опис	Номер плавки	Батьківська група	Результат/ Підсумок	
1	C001	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EH36, номер плавки 240361-3	240361-3	Група 1 (Підрозділи 1 та 2)	Прийнято	

Примітка: 1Макро-зразок

3.11.5 Звіт випробувань на розтягування

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТАГАННЯ				№ TENSILE-WPQR-02			
Найменування проекту WPQR-002							
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація							
тип обладнання	P-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	1359-331		
Процес зварювання	FCAW (136)	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм		
Зварювальна позиція	3G/PF Вертикальна	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	25 мм		
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами							
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Межа плинності σ_s , МПа	Межа міцності при розтягуванні σ_b , МПа	Подовження δ , %	Результат/Підсумок
1	C001	WPQR-002 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 240361-3	100x25 мм	405,37	554,19	25,01	Прийнято
2	C001		100x25 мм	405,15	554,28	25,09	Прийнято
							
Примітка: 2 зразки було використано на розтягування							

3.12 Специфікація зварювальної процедури (WPS/FCAW)

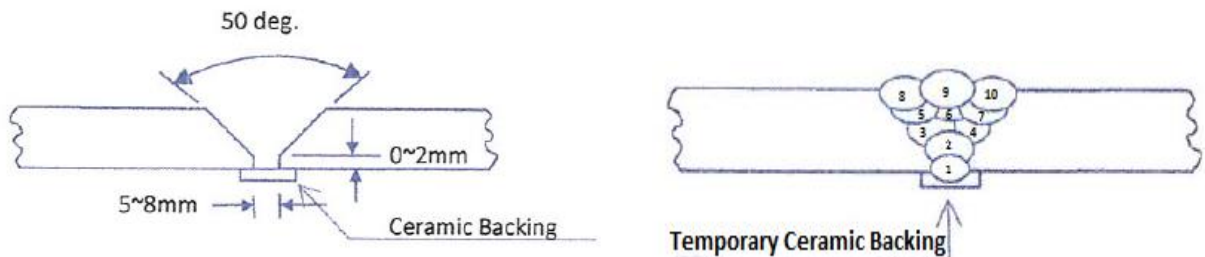
СПЕЦИФІКАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ(WPS)		FCAW
WPS No.: 002		
Підтримується WPQR. 2		Кодта специфікація: AWS D1.1
Процес зварювання: FCAW (136)		Зварювальні позиції, що допускаються: 3G/PF
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EH36 чи еквівалентні.		Відповідний діапазон товщини: від 3 мм до необмеженого.
		Тип з'єднання: Стикове

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Основний матеріал:			
Марка сталі: Вуглецева сталь марки А, В, D, АН36, ДН36, ЕН36 або еквівалентна.			
Межа міцності: (400-620) Н/мм2.		Межа плинності: (235–355) Н/мм2	
Значення CVN: 34 Джоуля при 0°С для АН36, 34 Джоуля при -20°С для ДН36 та 34 Джоуля при -40°С для ЕН36.			
Матеріали для наповнювача:	Класифікація	Діаметр дроту (мм)	Торгова марка
CEKA LASER E71T-T-1CJ	SFA/AWS A5.20	1.2	CEKA

CEKA LASER E71T-T-1CJ	SFA/AWS A5.20	1.2	CEKA
захисні гази: 100% CO2	Продувний газ: N/A	Витрата газу: 14 ~ 20 л/хв	

Типова схема підготовки



Допуск кута канавки: (+10, -5)

Техніка

Метод попереднього нагріву: газовий	Вимірювач: цифровий портативний термометр
Підготовка кромок: газове різання та шліфування	Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дрітjana щітка
Зворотній строжка: N/A	Техніка зварювання: однопрохідна/багатопохідна

Попереднє нагрівання:

Товщина пластини	Температура попереднього нагріву	Міжпрохідна температура
До 19 мм	Розігріти, та видалити вологу	230C Макс.
від 19.0 мм до 38 мм	65C	230C Макс.
Від 38 мм до 63.5 мм	100C	230C Макс.
Більше 63.5	150C	230C Макс.

Параметри зварювання для позицій 3G/PF

Кількість проходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер (А)	Вольт (В)	Швидкість (мм/хв)	Погонна енергія (кДж/мм)	Торгова марка
Корінь (1)	FCAW	DC+	1.2	180~220	24~28	129~215	1.74	CEKA LASER E71T-T- 1CJ
Заповнення/ Облицювання (2-10)	FCAW	DC+	1.2	180~220	24~28	78~130	2.87	
	FCAW	DC+	1.2	180~220	24~28	78~130	2.87	
	FCAW	DC+	1.2	180~220	24~28	78~130	2.87	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.131.4121з.05.03. ПЗ

Арк.

74

Примітка: згідно з американським національним стандартом D1.1, таблицею 3.7, ми можемо регулювати силу струму, напругу та швидкість руху в певних проміжках (%) [20].

3.13 Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом

Механізоване дугове зварювання – автоматичне зварювання під флюсом, дугове зварювання дротом (дротяним електродом) під шаром флюсу з механізованими операціями подачі дроту та переміщення дуги вздовж лінії шва.

До параметрів режиму механізованого дугового зварювання, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм ($I_{св}$), напруга на дузі (U_d), швидкість зварювання ($V_{св}$), діаметр (d_e) і швидкість подачі електродного дроту ($V_{п.ел}$).

Інші параметри: захисне середовище (марка флюсу та його грануляція), рід та полярність струму, виліт електрода (l), кут нахилу електрода та виробу, початкова температура виробу, витрата флюсу або захисного газу тощо. встановлюють, з умов зварювання конкретних виробів чи марки сталі [21].

План для розробки та атестації технологічних процесів зварювання

Ціль: Метою даного плану випробувань є атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 7 мм відповідно до вимог позиції 1G/PA.

Процес зварювання: Автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW 121).

Код та специфікація: AWS D1.1/PMPC

Тестова пластина та зварювальні матеріали:

а) Випробувальна пластина

Матеріал -вуглецева сталь класу EN36

Товщина пластини – 7 мм

Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C для EN36

(додаток - 34 Джоуля 0 ° C для EN36, 34 Джоуля -20 ° C для EN36).

б) Зварювальні матеріали

Дріт присадковий – OK Autrod 12.22 ESAB/EN ISO 14171-A – 4.0мм

Флюс: OK Flux 10.71 ESAB/EN760

Флюс, що підтримує: OK Flux 10.69 ESAB/EN ISO 14174

					<i>ДП.131.4121з.05.03. ПЗ</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Класифікація - SFA/AWS A5.17/SA AB 1 67 AC H5/SA CS 4

Тестування та перевірка:

а) Огляд

Візуальний огляд

Ультразвуковий контроль

Магнітопорошковий контроль

Рентгенографічний контроль

б) Механічні випробування

Випробування на розтяг - 2 зразки

Випробування на бічний вигин – 4 обр.

Макросріз - 1 зразок

Випробування на твердість – 1 зразок

Випробування на шарпі з V-подібним
вирізом (CVN)

ПОЛОЖЕННЯ:

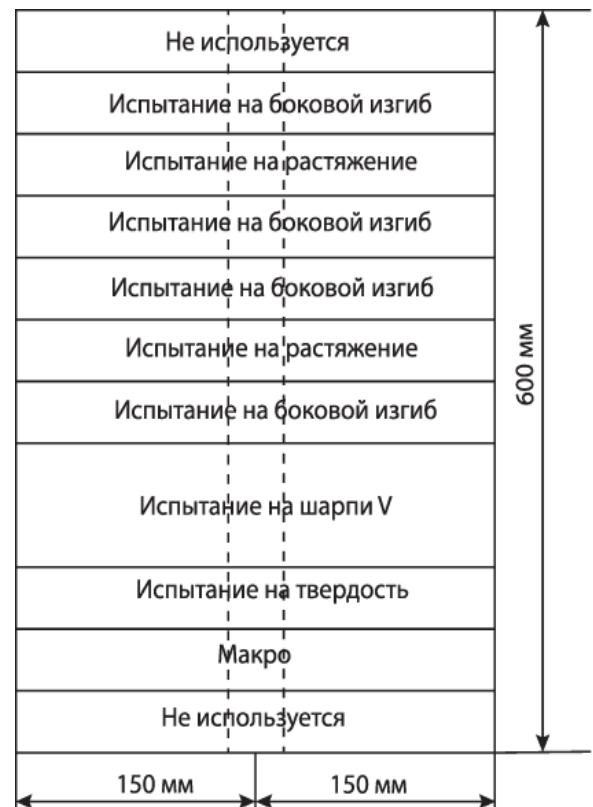
Наплавлений метал - 1х3 зразка

Лінія плавлення - 1х3 зразка

2 мм від лінії плавлення - 1х3 обр.

5 мм від лінії плавлення - 1х3 обр.

**Таблиця 3.9 Розташування тестових
зразків.**



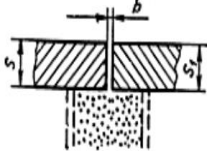
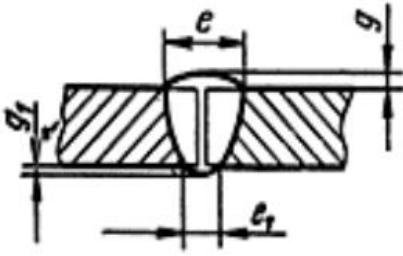
**Таблиця 3.10 Типовий хімічний склад наплавленого металу електродів та
механічні властивості металу шва**

Класифікація	Хімічний склад	Механічні властивості наплавленого металу
OK Autrod 12.22 ESAB/EN ISO 14171-A 4.0mm	C-0,08~0,12 Si-0,15~0,30 Mn-0,90~1,15 P max 0,015S max 0,020	Межа плинності: 420 МПа Межа міцності: 510 МПа Відносне подовження: 24~27% В'язкість: -40°C 50 Дж/см2

Зварювання здійснюємо за один прохід, автоматичне на флюсовій подушці,
необхідно забезпечити провар та формування кореня шва, виконуємо

електродом діаметром 4.0 мм.

Таблиця 3.11 Геометричні розміри зварного шва та підготовлених кромок під зварювання.

Умовне позначення зварного елемента	Конструктивні елементи підготовлених кромок деталей, що зварюються згідно з ГОСТ 8713-79С4	S	b	e	g	g
I Groove Welds Квадратна канавка 		Номінал.	Номінал/попер. вимкнуті.	Номінал /попер.	Номінал.	перед. вимкнуті.
		7 мм	2 ±1.5мм	20 ±3мм	2 мм	+1 -1.5мм

1) Для визначення числа проходів знайдемо загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу за формулою:

$$F_H = b \cdot S + 0,73 \cdot g \cdot e, \quad (3.44)$$

Підставляємо значення у формулу (3.44):

$$F_H = 2 \cdot 7 + 0,73 \cdot 2 \cdot 20 \approx 44 \text{ мм}^2$$

Загальну площу поперечного перерізу, наплавленого та розплавленого металів, знайдемо за формулою:

$$F = 0.73 \cdot e(S + g) = 0.73 \cdot 20(7 + 2) \approx 129 \text{ мм}^2, \quad (3.44.1)$$

Знаходимо площу поперечного перерізу проплавленого металу за формулою:

$$F_{\text{ПР}} = F - F_H = 129 - 44 = 85 \text{ мм}^2, \quad (3.44.2)$$

Якщо загальна площа наплавленого металу більше 0,5 см², зварювання за один прохід не виконується. Кількість проходів розраховується за такою формулою [32]:

$$n = \frac{F_H}{F_1} = \frac{0.44}{0.32} = 1.37, \quad (3.45)$$

Приймаємо число проходів 1.

де n – кількість проходів;

F₁ – площа першого наплавленого шва, см²; dE – діаметр електродного дроту, мм.

$$F1 = (6 \dots 8) \cdot \frac{d_3}{100}, \quad (3.46)$$

Підставляємо значення у формулу (3.46):

$$F1 = (6 \dots 8) \cdot \frac{4}{100} = 0.24 \dots 0.32 \text{ см}^2$$

2) Силу зварювального струму $I_{\text{св}}$ розрахуємо за такою формулою:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot j, \quad (3.47)$$

Підставляємо значення у формулу (3.47):

$$I_{\text{св}} = \frac{3.14 \cdot 4^2}{4} \cdot 50 = 630 \text{ А} \approx 650 \text{ А}$$

16.3.1 Розрахуємо густину струму j (А/мм²) за формулою:

$$j = \frac{I_{\text{св}}}{F_{\text{эл}}} = \frac{630}{12,6} \approx 50 \text{ А/мм}^2, \quad (3.48)$$

Де, $F_{\text{эл}}$ площа електродного дроту, мм².

$$F_{\text{эл}} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,6 \text{ см}^2, \quad (3.49)$$

Проведемо перевірку відповідності діаметра електрода з допустимою щільністю струму згідно з таблицею 3.49 при зварюванні під флюсом.

Таблиця 3.12 Залежність діаметра електродного дроту від щільності струму при зварюванні під флюсом

$d_{\text{эл}}, \text{ мм}$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$j, \text{ А/мм}^2$	65 – 200	45 – 90	35 – 60	30 – 50	25 – 45

3) Визначимо напругу на дузі

Визначимо напругу дуги за формулою:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{5 \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot \sqrt{d_3}} \pm 1, \quad (3.50)$$

Підставляємо значення у формулу (3.50):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{5 \cdot 650}{100 \cdot \sqrt{4}} \pm 1 = \frac{3250}{200} = 36 \pm 1 \text{ В}$$

Приймаємо напругу 36 В.

4) Швидкість зварювання під флюсом $V_{\text{св}}$ (см/с) розраховується за такою формулою:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot F_{\text{н}} \cdot \gamma}, \quad (3.51)$$

Підставляємо значення у формулу (3.51):

$$V_{\text{св}} = \frac{14 \cdot 650}{3600 \cdot 0,44 \cdot 7,8} = \frac{9100}{12\,355} \approx 0,74 \text{ см/с} \approx 27 \text{ м/ч} \approx 450 \text{ мм/мин.}$$

5) Визначають коефіцієнт наплавлення.

При зварюванні під флюсом через незначні втрати електродного металу з достатнім для практичних розрахунків ступенем точності можна прийняти, що коефіцієнт наплавлення $\alpha_{\text{н}}$ дорівнює коефіцієнту розплавлення $\alpha_{\text{р}}$.

Значення $\alpha_{\text{р}}$ складається з двох доданків [21].

$$\alpha_{\text{р}} = \alpha_{\text{р}}^{\text{г}} + \alpha_{\text{р}}^{\text{Т}}, \quad (3.52)$$

Де, - складова коефіцієнта розплавлення, обумовлена тепlopокладанням дуги, г/А·год; $\alpha_{\text{р}}^{\text{г}}$

$\alpha_{\text{р}}^{\text{Т}}$ - складова коефіцієнта розплавлення, яка залежить від тепловкладання внаслідок попереднього нагріву вильоту електрода струмом, що протікає, г/А·год.

$$\alpha_{\text{р}}^{\text{г}} = 11,6 \pm 0,4$$

$$\alpha_{\text{р}}^{\text{Т}} = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{\text{св}}} \cdot \frac{l_{\text{в}}}{d_3^2}, \quad (3.53)$$

$$\alpha_{\text{р}}^{\text{Т}} = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{650} \cdot \frac{4,0}{0,4^2} = \frac{3,1 \cdot 25,49 \cdot 25}{1000} = 1,98 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Визначимо коефіцієнт наплавлення за формулою (3.52), отримаємо:

$$\alpha_{\text{р}} = 12 + 1,98 \approx 14 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} = 14 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$\alpha_{\text{н}}$ – коефіцієнт наплавлення, 14 г/Ач.

γ – густина електродного металу, 7,83 г/см³.

6) Встановлюємо виліт електрода $l_{\text{в}}$. При зварюванні під флюсом виліт електрода вибирають в межах 20 - 80мм, при цьому меншим діаметром електрода відповідають менші значення вильоту і наоборот. При зварюванні в вуглецевому газі виліт електрода $l_{\text{в}}$ вибирають в межах 10 - 20мм.

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При зварюванні під флюсом $l_b = (8...12) d_e$, мм- Виліт електрода; величину вильоту електрода l_b приймаємо 40 мм, згідно з рекомендацією [21; 30].

При розрахунку режиму зварювання необхідно провести перевірку задовільного формування шва відповідно до наступної формули:

$$A_1 = V_{CB} \cdot I_{CB} \cdot 36, \quad (3.54)$$

Підставляємо значення у формулу (3.54):

$$A_1 = 0,74 \cdot 650 \cdot 36 = 17\,316 \div 1\,000 = 17,316 \text{ А} \cdot \text{м/час}$$

Де, A_1 - коефіцієнт формування шва, $\text{А} \cdot \text{м} / \text{год}$; V_{CB} - швидкість зварювання, см/сек ; I_{CB} - зварювальний струм, А .

Підставляємо значення формулу (3.54); отримане значення звіряємо з обраним раніше значенням діаметра таблиці 16.5 (задовільне формування шва).

Таблиця 3.13 Залежність діаметра електродного дроту від коефіцієнта A_1

$d_{эл}$, мм	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0
j , А/мм ²	2-5	3-6	5-8	8-12	12-16	16-20

7) Визначаємо швидкість подачі електродного дроту за формулою:

$$V_{пэл} = \frac{V_{CB} \cdot F_H}{F_{эл} \cdot \left(1 - \frac{K}{100}\right)}, \quad (3.55)$$

Підставляємо значення у формулу (3.55):

$$V_{пэл} = \frac{0,74 \cdot 0,44}{0,12 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right)} \approx 2,92 \text{ см/с} \approx 105,1 \text{ м/ч} \approx 1752 \text{ мм/мин.}$$

8) Для перевірки основних параметрів режиму зварювання розраховується величина погонної енергії зварювання за формулою:

$$q_p = \frac{\eta_u \cdot I_{CB} \cdot U_d}{V_{CB}}, \quad (3.56)$$

Підставляємо значення у формулу (3.56):

$$q_p = \frac{36 \cdot 650 \cdot 0,9}{0,74} = \frac{21060}{0,74} = 28460 \text{ Дж/см} \approx 2,85 \text{ кДж/мм}$$

Де, q_p - погонна енергія зварювання, Дж/см ; U_d - напруга на дузі, В ; I_{CB} - зварювальний струм, А ; η – ефективний коефіцієнт корисної дії нагріву виробу дугою, вибирається для зварювання під флюсом $\eta = 0,85 - 0,95$;

V_{CB} – швидкість зварювання, см/сек .

					<i>ДП.131.4121з.05.03. ПЗ</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9) Далі розраховується реальні значення коефіцієнта форми провару ψ :

$$\varphi_{np} = \frac{k^1 \cdot (19 - 0.01 \cdot I_{cb}) \cdot d_3 \cdot U_d}{I_{cb}}, \quad (3.57)$$

Підставляємо значення у формулу (3.57):

$$\varphi_{np} = \frac{0,367 \cdot 50^{0,1925} (19 - 0,01 \cdot 650) \cdot 4 \cdot 36}{650} = \frac{0,78 \cdot 12,5 \cdot 4 \cdot 36}{650} = 2,16 \approx 2,2$$

$\in (0,8 \dots 4,0)$

Для автоматизованої наплавки значення φ повинні становити 0.8...4.0, у разі, значення коефіцієнта перебуває у цьому інтервалі, отже, режими підібрані, правильно.

де k_1 – деякий коефіцієнт, 1/мм. [33; 34].

Деякий коефіцієнт k_1 залежить від роду, полярності, щільності струму та визначається за таблицею 3.14.

Таблиця 3.14 Визначення коефіцієнта k_1 залежно від роду, полярності та щільності струму

Рід та полярність струму	Полярність струму	
	$j \leq 120 \text{ А/мм}^2$	$j > 120 \text{ А/мм}^2$
Постійний струм прямий полярності	$k_1 = 2,82 \cdot j^{0,1925}$	$k_1 = 1,12$
Постійний струм Зворотній полярності	$k_1 = 0,367 \cdot j^{0,1925}$	$k_1 = 0,92$
Змінний струм	$k_1 = 1$	

10) Далі визначаємо глибину проплавлення H за формулою:

$$H = 0.0076 \sqrt{\frac{q_p}{\varphi_{np}}}, \quad (3.58)$$

Підставляємо значення у формулу (3.58):

$$H = 0.0076 \sqrt{\frac{28460}{2.2}} = 0.86 \approx 0.9 \text{ см}$$

11) Визначення висоти валика

Висота валика визначається за такою формулою:

$$q = \frac{e}{\varphi_B} = \frac{2}{8} = 0,25 \text{ см}, \quad (3.59)$$

де, e – ширина шва;

– коефіцієнт форми посилення, що у межах $7 \dots 10 \cdot \varphi_B$

Знаючи глибину провару та коефіцієнт форми провару, визначимо ширину шва

$$e = \varphi_{\text{пр}} \cdot H = 2,2 \cdot 0,9 = 2 \text{ см}, \quad (3.60)$$

12) Площа перерізу наплавленого металу

Площа перерізу наплавленого металу визначимо за такою формулою:

$$F_{\text{нап}} = 0,73 \cdot q \cdot e, \quad (3.61)$$

$$F_{\text{нап}} = 0,73 \cdot 2 \cdot 0,25 = 0,36 \text{ см}^2,$$

3.14 Розрахунок хімічного складу, визначення механічних властивостей металу шва та структуру сталі (SAW)

Вплив хімічних елементів, що входять до основного металу, може бути значним. Не враховувати цього не можна. Роль хімічного складу зварювальних матеріалів також очевидна, тому що підбором можна регулювати хімічний склад та механічні властивості металу шва у найширших межах.

Зміст елемента, що розглядається в металі шва визначається на підставі правила змішування за формулою:

$$R_{\text{ш}} = R_o \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot R_э \pm \Delta R, \quad (3.62)$$

Де, $R_{\text{ш}}$ - зміст елемента, що розраховується, %;

R_o - вміст того самого елемента в основному металі, %;

$(1 - \gamma)$ - частка участі електродного металу у металі шва, %;

$R_э$ - вміст елемента, що розраховується в металі, наплавленим даною маркою електродів, %;

γ - частка участі основного металу у металі шва;

ΔR - перехід даного металу з покриття або газу в шов [24].

1) Розрахунок для шва, отриманого автоматичним зварюванням під флюсом

Визначимо частку участі основного металу у металі шва за формулою:

$$\gamma = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_H}; \quad (3.63)$$

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де, F_n - площа перерізу наплавленого металу;

$F_{пр}$ - Площа перерізу проплавленого металу.

У такому разі розраховуємо за формулою (3.63):

$$\gamma = \frac{85}{85 + 44} = \frac{85}{129} \approx 0.65$$

Для того щоб визначити хімічний склад наплавленого металу необхідно знати хімічний склад електродного металу, яким буде проводитися зварювання. Ці дані представлені у таблиці 3.10.

**2) Визначаємо хімічний склад металу шва для
за формулою 3.62:**

$$R_{III}(C) = 0.65 \cdot 0.18 + (1 - 0.65) \cdot 0.08 = 0.14\%$$

$$R_{III}(Mn) = 0.65 \cdot 1 + (1 - 0.65) \cdot 1.1 = 1.03\%$$

$$R_{III}(Si) = 0.65 \cdot 0.5 + (1 - 0.65) \cdot 0.15 = 0.37\%$$

$$R_{III}(S) = 0.65 \cdot 0.025 + (1 - 0.65) \cdot 0.02 = 0.023\%$$

$$R_{III}(P) = 0.65 \cdot 0.025 + (1 - 0.65) \cdot 0.015 = 0.021\%$$

$$R_{III}(Cr) = 0.65 \cdot 0.2 = 0.13\%$$

$$R_{III}(Ni) = 0.65 \cdot 0.4 = 0.26\%$$

$$R_{III}(Cu) = 0.65 \cdot 0.35 = 0.22\%$$

$$R_{III}(Mo) = 0.65 \cdot 0.08 = 0.052\%$$

$$R_{III}(Ti) = 0.65 \cdot 0.02 = 0.013\%$$

$$R_{III}(Al) = 0.65 \cdot 0.015 = 0.0097\%$$

$$R_{III}(Nb) = 0.65 \cdot 0.05 = 0.032\%$$

$$R_{III}(V) = 0.65 \cdot 0.1 = 0.065\%$$

Типовий хімічний склад наплавленого металу, виготовлений електродами марки OK Autrod 12.22 ESAB по SFA/AWS A5.17. Оскільки, визначаючи хімічний склад металу шва, ми використовуємо типовий хімічний склад наплавленого металу, значення ΔR ми не враховуємо.

3) Визначення механічних характеристик металу шва

Визначення механічних характеристик металу шва, виконаного механізованим зварюванням.

Межа міцності шва:

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_B = 4,8 + 50C + 25,2Mn + 17,5Si + 23,9Cr + 7,7Ni + 17,6Cu, \quad (3.64)$$

$$\sigma_B = 4,8 + 50 \cdot 0,14 + 25,2 \cdot 1,03 + 17,5 \cdot 0,37 + 23,9 \cdot 0,13 + 7,7 \cdot 0,26 + 17,6 \cdot 0,22 \approx 532 \text{ МПа}$$

Відносне подовження шва:

$$\delta = 50,4 - [21,8C + 15Mn + 4,9Si + 2,4Ni + 5,8Cr + 6,2Cu], \quad (3.65)$$

$$\delta = 50,4 - [21,8 \cdot 0,14 + 15 \cdot 1,03 + 4,9 \cdot 0,37 + 2,4 \cdot 0,26 + 5,8 \cdot 0,13 + 6,2 \cdot 0,22] \approx 27,3\%$$

Межа плинності шва:

$$\sigma_m = 0,73 \cdot \sigma_B = 0,73 \cdot 532 \approx 390 \text{ МПа} \quad (3.66)$$

Відносне поперечне звуження:

$$\varphi = 2,32 \cdot \delta = 2,32 \cdot 27 \approx 62\% \quad (3.67)$$

4) Визначаємо структуру сталі

Визначення структури сталі здійснюється за діаграмою Шеффлер (рисунок 3.6). Для цього спочатку для сталі розраховуються еквівалентні значення хрому та нікелю:

Еквівалентне значення хрому:

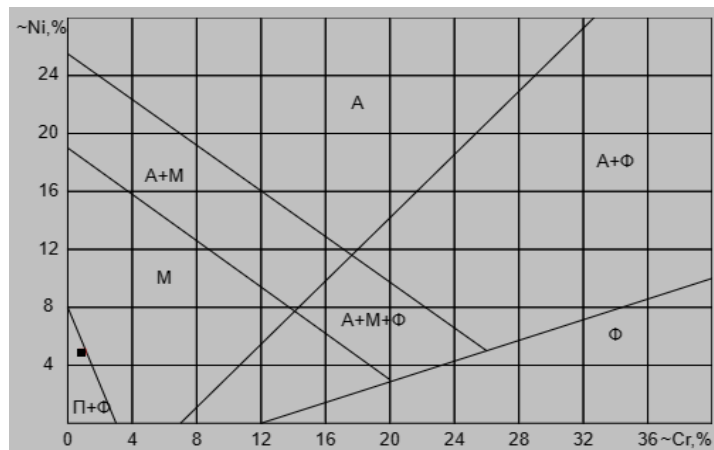
$$Cr_{\text{экв}} = Cr + Mo + 2 \cdot Ti + 2 \cdot Al + Nb + 1,5 \cdot Si + V, \quad (3.68)$$

$$Cr_{\text{экв}} = 0,13 + 0,052 + 2 \cdot 0,013 + 2 \cdot 0,0097 + 0,032 + 1,5 \cdot 0,37 + 0,065 = 0,87\%.$$

Еквівалентне значення нікелю:

$$Ni_{\text{экв}} = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn, \quad (3.69)$$

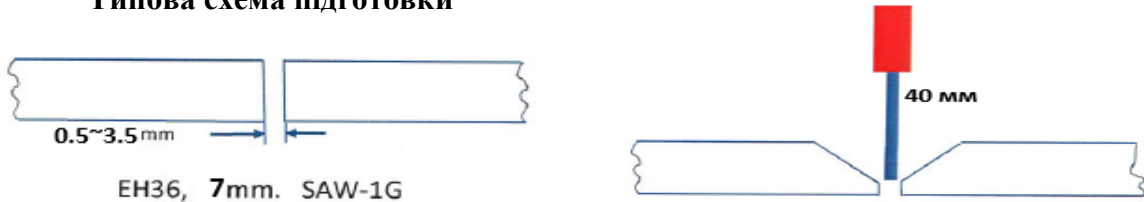
$$Ni_{\text{экв}} = 0,26 + 30 \cdot 0,14 + 0,5 \cdot 1,03 = 4,97\%$$



Малюнок 3.6 Діаграма Шеффлера

3.15 Розробка та атестація технологічних процесів зварювання (SAW)

Форми та розробка звітів щодо кваліфікації процесу зварювання (WPQR)
процес зварювання 121 SAW – зварювання під флюсом.

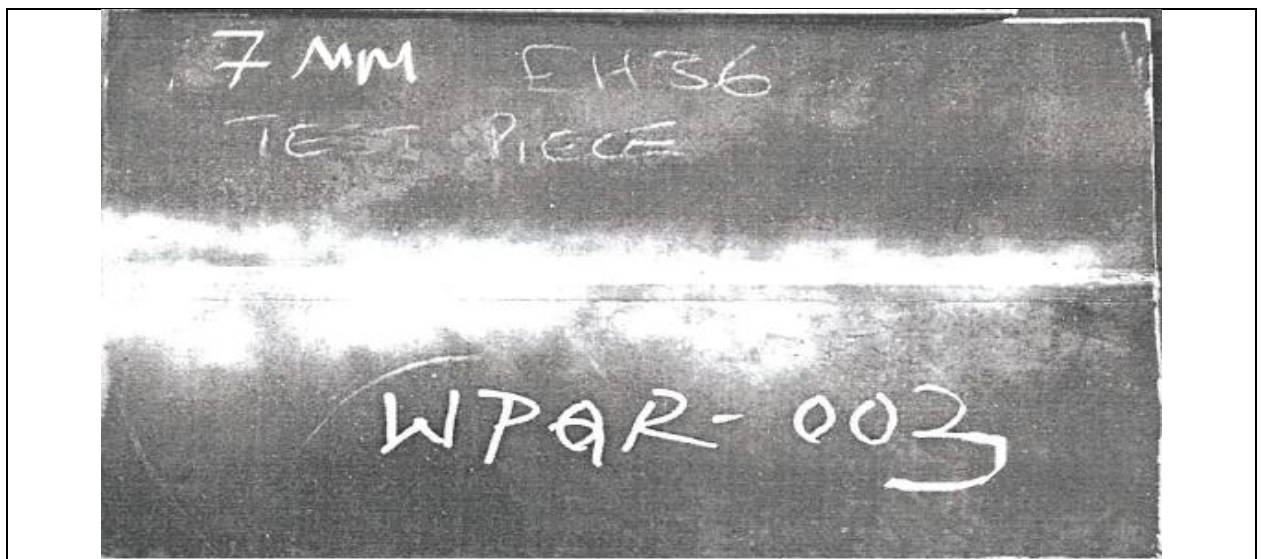
ПРОТОКОЛ АТЕСТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ				SAW	
WPQR No.: 003				FCAW/WPS-003	
Виробляється зварювання: Емін Рагімов (C001)			Кодта специфікація: AWS D1.1/PMPC		
Процес зварювання: SAW (121) Автоматична з флюсовою підтримкою			Зварювальна позиція: 1G/PA нижнє стикове з'єднання		
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EN36			Товщина листа: 7 мм		
			Тип з'єднання: Квадратна канавка (I-Groove Weld)		
Основний матеріал:					
Марка сталі: EN36/PEC 36/номер плавки 36850-1					
Випробування на розтягування: 532			Межа плинності: 390 N/mm ²		
Значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN): 128 Джоуля -40°C					
Матеріали для наповнювача:	Класифікація	Специфікація	Діаметр дроту(мм)	Торгова марка	
Корінь, заповнення/облицювання:	EN ISO 14171-A	SFA/AWS A5.17	4.0	OK Autrod 12.22 ESAB	
Флюс:	EN760	SA AB 1 67 AC H5	-	OK Flux 10.71 ESAB	
Підтримуючий флюс	EN ISO 14174	SA CS 4	-	OK Flux 10.69 ESAB	
Попереднє нагрівання:		Навколишній	зварювальне обладнання		ESAB
захисні гази: N/A		Продувний газ: N/A		Витрата газу: N/A	
Звіт з неруйнівного контролю					
Візуальний огляд: Пройдено/ Рапорт звіту RT: RT-WPQR-03					
Рапорт звіту UT: N/A / Рапорт звіту MPI: MPI-WPQR-03					
Звіти механічних випробувань					
Протокол випробувань на розтягування: Розтягування WPQR-03					
Протокол випробувань на вигин: Вигин WPQR-03 / Макросріз: Макро WPQR-03					
Випробування на шарпі (-40 градусів): CNVWPQR-03 / Випробування на твердість: Твердість					
Типова схема підготовки					
 0.5~3.5 mm 40 мм EN36, 7mm. SAW-1G					
Техніка					
Метод попереднього нагріву: газовий пальник			Вимірювач: цифровий портативний термометр		
Підготовка кромок: газове різання та шліфування			Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дротяна щітка		
Зворотній строжка: N/A			Техніка зварювання: однопрохідна/багатопохідна		

Попереднє нагрівання:								
Товщина пластини			Температурапопереднього нагріву			Міжпрохідна температура		
До19 мм			Розігріти, та видалити вологу			230С Макс.		
Від 19.0 мм до 38 мм			65С			230С Макс.		
Від 38 мм до 63.5 мм			100С			230С Макс.		
Більше63.5			150С			230С Макс.		
Параметри зварювання:								
Кількість проходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер(А)	Вольт(В)	Швидкість (мм/хв)	Погонна енергія (кджмм)	Температура попереднього / Міжпрохідна температура
Корінь, заповнення/ облицювання:	SAW	CC DC+	4.0	650	36	450	2.85	59С

3.16 Звіт з неруйнівного контролю (SAW)

3.16.1 Звіт магнітопорошкової дефектоскопії

ЗВІТ МАГНІТОПОРОШКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ				№ MPI-WPQR-03				
Найменування проекту WPQR-003								
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація								
Тип обладнання	Y6 Electro-magnet (220V)	Дата калібрування	20.06.2023 - 19.06.2024	Процес зварювання	SAW (121)			
Біла Контрастна фарба	MPI BS 5044/ LNK BS 4069	Чорне індикаторне чорнило	7HF	Сухий порошок	—			
Тип намагнічування	AC	Тестовий блок	4,5 кг №: 044	Метод	Вологий			
Стандарт випробувань	AWS D. 1.1/PMPC	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Товщина	7 мм			
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами								
Оператор/ зварювальн	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Тип недоліку	Розташуван ня дефект	Довжина дефекту	Результат/ підсумок
C001	1G/PA нижнє стикове з'єднання	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 36850-1	7 мм	600 мм	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято



3.16.2 Звіт радіографічного випробування

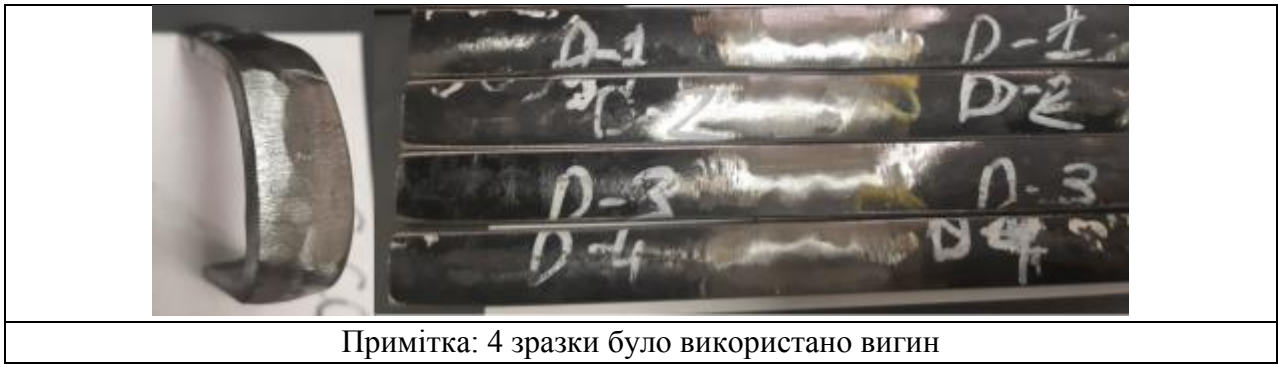
ЗВІТ РАДІОГРАФІЧНОГО ВИПРОБУВАННЯ					№RT-WPQR-03				
Найменування проекту WPQR-003									
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація									
Джерело	X-RAY, 250 kV	Розмір джерела	2,5 x 2 мм	густина	2,6-3,0				
Розмір плівки	235x7,60 дюйми	Тип плівки	AA 400	Товщина екрану	0,125 x 0,125 мм				
Відстань до вихідної плівки	800 мм	Час контакту	450 сек.	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36				
Час розробки	4 хв	Температура	20 °C	Тип IQI	ASTM 1B/IB-6				
Чутливість	<2%	Процес зварювання		SAW (121)					
Стандарт випробувань	AWS D1.1/Правила PMPC класифікації та спорудження морських суден								
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Найменування та тип дефектів									
Пористість	ПЗ	Неповне проникнення	НП	Дуговий удар	ДК				
Груповая пористість	ДП	Відсутність злиття	ОС	Крім міді	КМ				
Кластерна пористість	КП	Відсутність злиття бічний стілки	ОСБС	пропалив	ПР				
Внутрішній підріз	ВТП	Внутрішня увігнутість	ВВ	Вольфрамові включення	ВВ				
Зовнішній підріз	ВШП	Червоточина	ЧР						
Шлакові включення	ШВ	Надмірне проникнення	НП						
Оксидні включення	ОВ	Тріщини	ТР						
Підсумки за результатами									
Оператор/ зварювальник	Зварювальна позиція	Опис	Товщина	Довжина зварного шва	Щільність плівки	Тип недоліку	Розташування дефект	Довжина дефекту	Результат/ підсумок

C001	1G/A нижнє одностороннє стикове з'єднання	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 36850-1	7 мм	600 мм	2,6-3,0	не виявлено	не виявлено	не виявлено	прийнято
------	---	---	------	--------	---------	-------------	-------------	-------------	----------

3.17 Звіти механічних випробувань (SAW)

3.17.1 Звіт випробувань на вигин

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ВИГИБ				№BEND-WPQR-03					
Найменування проекту WPQR-003									
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація									
тип обладнання	МУП-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	ДТ 101				
Процес зварювання	SAW (121)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Пластина 600x300x7 мм				
Зварювальна позиція	1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	7 мм				
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC						
Підсумки за результатами									
№	Оператор/зварюваль	Опис	Товщина	Ширина	Тип вигину	Радіус оправленн	Відстань ролика	Кут	Результат/підсумок
1	C001	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 36850-1	7 мм	10мм	Лицьовий вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
2			7 мм	10мм	Лицьовий вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
3			7 мм	10мм	Кореневий вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено
4			7 мм	10мм	Кореневий вигин	19мм	60	180 °	Прийнято - На вигнутій поверхні тріщин не виявлено



Примітка: 4 зразки було використано вигин

3.17.2 Звіт випробувань на твердість

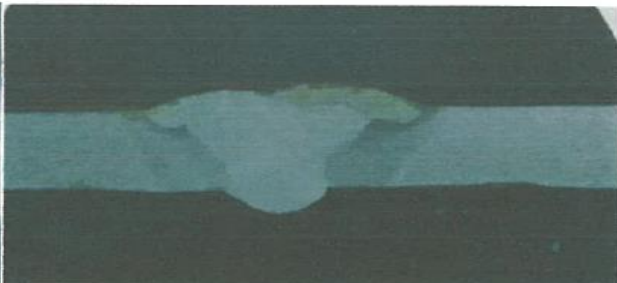
ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ТВЕРДІСТЬ					№ HARDNESS-WPQR-03							
Найменування проекту WPQR-003												
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація												
тип обладнання	TKM-459C (Серійний №17004)	Дата калібрування	15.02.2023- 14.02.2024	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36							
Проб. Тип та серійний номер	UCI/ 16292	Об'єкт, що перевіряється	Тестовий зразок для WPQR	Процес зварювання	SAW (121)							
Одиниця вимірів	HV	Калібрувальний блок	ZIP N393/ZIP N367/ZIP N345	Товщина	7 мм							
Стандарт випробувань			AWS D1.1/PMPC									
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC									
Підсумки за результатами												
Опис	Оператор/ зварювальник	Зварювальна позиція	ЗТВ 1			середня величина	Зварювальний шов	середня величина	ЗТВ 2			середня величина
			174	177	161	170		165	169	175	169	154
WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 36850-1												
C001												
1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання												
Ескіз об'єкта контролю												
Результат/Підсумок - Прийнято												
Примітка: Зона термічного впливу (HAZ)												

3.17.3 Випробування на шарпі з V-подібним вирізом (CVN)

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА ШАРПІ З V-ОБРАЗНИМ ВИРІЗОМ (CVN)					№ IMPACT-WPQR-03	
Найменування проекту WPQR-003						
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація						
тип обладнання	UTC-091	Дата калібрування	19.07.2023-18.07.2024	Заводський номер	09/007813	
Процес зварювання	SAW (121)	Перевірений матеріал	CS/EN 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм	
Зварювальна позиція	1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	7 мм	
Критерії приймання			AWS D1.1/PMPC			
Підсумки за результатами						
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Температура При випробувань	Випробування на удар Шарпі (J)(CVN)	Результат/Підсумок
1	C001	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EN36, номер плавки 36850-1	5x10x55мм	- 40	101,81 103,58 115,85 103,22 119,68 111,56 129,32 109,25 121,03	Прийнято
 						
Примітка: 12 зразків було використано на Шарпі (CVN)						

3.17.4 Звіт макротесту

ЗВІТ МАКРО-ТЕСТА		№ MACRO-WPQR-03	
Найменування проекту WPQR-003			
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація			
Видатковий матеріал	OK Autrod 12.22 ESAB/OK Flux 10.71 ESAB/OK Flux 10.69 ESAB		

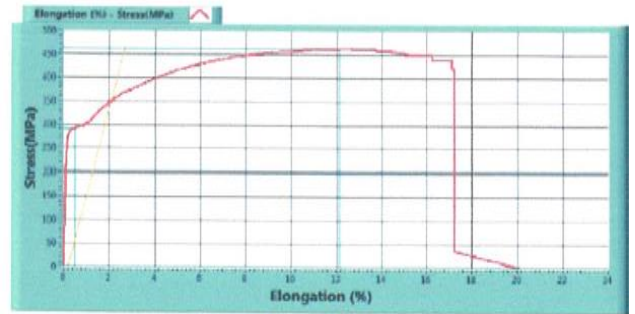
Процес зварювання	SAW (121)	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм
Зварювальна позиція	1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання	Стандарт випробувань	ICO 17639 AWS D1.1/PMPC	Товщина	7 мм
Критерії приймання		ISO 6520-1/ AWS D1.1/ PMPC			
Підсумки за результатами					
№	Оператор / зварювальник	Опис	Номер плавки	Батьківська група	Результат/ Підсумок
1	C001	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу EH36, номер плавки 36850-1	36850-1	Група 1 (Підрозділи 1 та 2)	Прийнято
					
Примітка: 1Макро-зразок					

3.17.5 Звітвипробувань на розтягування

ЗВІТ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТАГАННЯ				№ TENSILE-WPQR-03			
Найменування проекту WPQR-003							
Інспекційне обладнання, витратні матеріали та документація							
тип обладнання	P-50 (500KN)	Дата калібрування	15.02.2023-14.02.2024	Заводський номер	1359-331		
Процес зварювання	SAW (121)	Перевірений матеріал	CS/EH 36/PCE 36	Тестовий зразок	Платів 600x300мм		
Зварювальна позиція	1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання	Стандарт випробувань	AWS D1.1/PMPC	Товщина	7 мм		
Критерії приймання		AWS D1.1/PMPC					
Підсумки за результатами							
№	Оператор/зварювальник	Опис	Розміри випробувального зразка	Межа плинності σ_b , МПа	Межа міцності при розтягуванні σ_b , МПа	Подовження δ , %	Результат/Підсумок

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			91

1	C001	WPQR-003 Зразок для випробувань / Марка матеріалу ЕН36, номер плавки 36850-1	100x7 мм	390,56	532,11	27,86	Прийнято
2	C001		100x7 мм	390,29	532,17	27,15	Прийнято



Примітка: 2 зразки було використано на розтягування
[20; 21; 26; 27]

3.18 Специфікація зварювальної процедури (WPS/SAW)

СПЕЦИФІКАЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ(WPS)			SAW	
WPS No.: 003				
Підтримується WPQR. 3		Кодта специфікація: AWS D1.1		
Процес зварювання: SAW (121)		Зварювальні позиції, що допускаються:1G/PAнижнє одностороннє стикове з'єднання		
Відповідний діапазон груп матеріалів: від класу A36 до EN36 чи еквівалентні.		Відповідний діапазон товщини: макс. 10 мм		
		Тип з'єднання: Квадратна канавка (I-Groove Weld)		
Основний матеріал:				
Марка сталі: Вуглецева сталь марки A, B, D, AН36, DН36, EN36 або еквівалентна.				
Межа міцності: (400-620) Н/мм2.		Межа плинності: (235–355) Н/мм2		
Значення CVN: 34 Джоуля при 0°С для AН36, 34 Джоуля при -20°С для DН36 та 34 Джоуля при -40°С для EN36.				
Матеріалдля наповнювача:	Класифікація	Специфікація	Діаметр дроту(мм)	Торгова марка
Корінь, заповнення/ облицювання:	EN ISO 14171-A	SFA/AWS A5.17	4.0	OK Autrod 12.22 ESAB
Флюс:	EN760	SA AB 1 67 AC H5	-	OK Flux 10.71 ESAB
Підтримуючий флюс	EN ISO 14174	SA CS 4	-	OK Flux 10.69 ESAB
захисні гази: N/A	Продувний газ: N/A		Витрата газу: N/A	

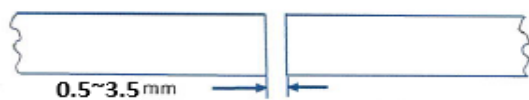
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.131.4121з.05.03. ПЗ

Арк.

92

Типова схема підготовки



EN36, 7mm. SAW-1G



SAW-1G, Single Pass

Техніка

Метод попереднього нагріву: газовий	Вимірювач: цифровий портативний термометр
Підготовка кромок: газове різання та шліфування	Очищення між проходами: подрібнення / шліфування / дрітjana щітка
Зворотній строжка: N/A	Техніка зварювання: однопрохідна/багатопохідна

Попереднє нагрівання:

Товщина пластини	Температура попереднього нагріву	Міжпрохідна температура
До 19 мм	Розігріти, та видалити вологу	230C Макс.
Від 19.0 мм до 38 мм	65C	230C Макс.
Від 38 мм до 63.5 мм	100C	230C Макс.
Більше 63.5	150C	230C Макс.

1G/PA нижнє одностороннє стикове з'єднання

Кількість проходів	Процес	Полярність	Діаметр (мм)	Ампер (А)	Вольт (В)	Швидкість (мм/хв)	Погонна енергія	Торгова марка
Корінь, заповнення/Облицювання (1)	SAW	CC DC+	4.0	585~715	33~38	338~562	2.85	ESAB

Примітка: згідно з американським національним стандартом D1.1, таблицею 3.7, ми можемо регулювати силу струму, напругу та швидкість руху в певних проміжках (%) [20].

Висновки

1. У цій дипломній роботі було проведено розробку та атестацію технологічних процесів ручного, напіваавтоматичного та автоматичного дугового зварювання з вуглецевої сталі марки EN36.

2. При ручному дуговому зварюванні покритими електродами основними параметрами режиму зварювання є діаметр електрода, сила зварювального струму, напруга дуги, рід струму, полярність, швидкість зварювання, площа поперечного перерізу шва, що виконується за один прохід чи кількість проходів.

Метою плану випробувань була атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, завтовшки

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25,4мм згідно з вимогами для позиції 2G/PC.

Для цієї сталі значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C, межа плинності мінімум 355(МПа), міцність на розтяг 490-620(МПа). Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 129 Джоуля -40°C, Межа плинності: 401(МПа), міцність на розтяг 549(МПа).

3. До параметрів режиму механізованого дугового зварювання в захисних газах, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм (ICB), напруга на дузі (УД), швидкість зварювання (VCB), діаметр (d е) та швидкість подачі електродного дроту (VN.ЕЛ)). Метою плану випробувань була атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 25 мм відповідно до вимог позиції 3G/PC. Для цієї сталі значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C, межа плинності мінімум 355(МПа), міцність на розтяг 490-620(МПа). Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 128 Джоуля -40°C, Межа плинності: 405(МПа), міцність на розтяг 554(МПа).

4. Автоматичне зварювання під флюсом до параметрів режиму автоматичного дугового зварювання, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість зварювання, діаметр і швидкість подачі електродного дроту.

Метою даного плану випробувань була атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 7 мм згідно з вимогами позиції 1G/PA. Для цієї сталі значення Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 34 Джоуля -40°C, межа плинності мінімум 355(МПа), міцність на розтяг 490-620(МПа). Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі з V-подібним вирізом (CVN) - 128 Джоуля -40°C, Межа плинності: 390(МПа), міцність на розтяг 532(МПа).

					ДП.131.4121з.05.03. ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТ І ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні положення техніки безпеки при електричному зварюванні

При електрозварювальних роботах можливі такі види виробничого травматизму: ураження електричним струмом, ураження очей і відкритої поверхні шкіри випромінюванням електричної дуги, опіки від крапель металу і шлаку, отруєння шкідливими газами, пилом і випарами, що виділяються при зварюванні, забиття і поранення від вибухів і при зварюванні судин з-під горючих речовин.

4.1.1 Захист від ураження електричним струмом.

При справному стані обладнання і правильному виконанні зварювальних робіт можливість ураження струмом виключається. Однак у практиці можливі ураження електричним струмом внаслідок несправності зварювального обладнання або заземлення мережі, неправильного підключення зварювального обладнання до мережі, несправності електропроводки та неправильного ведення зварювальних робіт. Ураження від електричного струму відбувається при дотику до токонесячих частин електропроводки та зварювальної апаратури.

Напруга холостого ходу джерел живлення дуги досягає 90 В, а при плазмово-дуговому різанні 200 В. Враховуючи, що опір людського організму в залежності від його стану (втома, стан здоров'я, вологість шкіри) може змінюватися в широких межах (від 1 Ом), вказані вище напруги є дуже небезпечними для життя. Струми більше 0,05 А можуть спричинити тяжкі наслідки і навіть смерть.

Небезпека ураження зварювальника та підсобних робочих струмом особливо велика при зварюванні великогабаритних резервуарів під час роботи всередині ємностей

					ДП.131.41213.05.04. ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Рагімов			ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТ І ОХОРОНА ПРАЦІ			Лім.	Арк.	Архувів	
Керівник.		Костін								95	121
Консул.								НУК ім. адм. Макарова			
Н. Контр.											
Зав.каф.		Драган									

лежачи або напівлежачи на металевих частинах виробу, що зварюється або при виконанні зовнішніх робіт у сиру погоду, у сирих приміщеннях, котлованах, колодязях та ін.

Щоб уникнути ураження електричним струмом, необхідно дотримуватися таких умов:

Корпуси джерел живлення дуги, зварювального допоміжного обладнання та виробу, що зварюється, повинні бути надійно заземлені. Заземлення здійснюють мідним проводом, один кінець якого закріплюють до корпусу джерела живлення дуги до спеціального болта з написом «Земля», а другий кінець приєднують або до загальної шини, що заземлює, або до металевого штиря, вбитого в землю.

Заземлення пересувних джерел живлення проводять до включення в силову мережу, а зняття заземлення - тільки після відключення від силової мережі.

Для підключення джерел зварювального струму до мережі слід використовувати настінні ящики з рубильниками, запобіжниками та затискачами. Довжина проводів мережного живлення не повинна бути більше 10 м. При необхідності наростити провід застосовують сполучну муфту з міцною ізоляційною масою або провід з електроізоляційною оболонкою. Провід підвішують на висоті 2,5...3,5 м. Спуски укладають у заземлені металеві труби. Вводи і висновки повинні мати втулки або воронки, що оберігають дроти від перегинів, а ізоляцію - від псування.

При зовнішніх роботах зварювальне обладнання має бути під навісом для захисту від дощу та снігу. Без дотримання цих умов зварювальні роботи не допускаються, а зварювальну апаратуру вкривають від дії вологи.

Приєднувати та від'єднувати від мережі електрозварювальне обладнання, а також спостерігати за їх справним станом у процесі експлуатації зобов'язані електрики. Зварювальникам забороняється виконувати ці роботи.

Всі зварювальні дроти повинні мати справну ізоляцію і відповідати струмам, що застосовуються. Застосування проводів зі старою і розпатланою ізоляцією категорично забороняється.

При зварюванні внутрішніх швів резервуарів, котлів, труб та інших закритих і складних конструкцій необхідно користуватися гумовим килимком, гумовим

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шоломом та калошами. Для освітлення слід користуватися переносною лампою напругою 12 В. Все електрозварювальне обладнання має бути оснащено пристроями (АСТ-500, АСН-1, АСН-30) автоматичного відключення напруги холостого ходу або його обмеження до безпечного значення.

При роботах усередині резервуару або при зварюванні складної металевої конструкції, а також при зварюванні ємностей з-під горючих і легкозаймистих рідин до зварювальника призначається черговий спостерігач, який зобов'язаний забезпечити безпеку робіт і при необхідності надати першу допомогу.

При ураженні електричним струмом необхідно потерпілому надати допомогу: звільнити його від електропроводів, забезпечити доступ свіжого повітря і, якщо потерпілий знепритомнів, негайно викликати швидку медичну допомогу. При необхідності, до прибуття лікаря, робити штучне дихання [36].

4.1.2 Захист очей та відкритої поверхні шкіри від випромінювання електричної дуги.

Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих світлових променів і невидимих ультрафіолетових та інфрачервоних. Яскравість світлових променів значно перевищує норму, що допускається для людського ока, і тому, якщо дивитися на дугу неозброєним оком, вона справляє сліпучу дію. Ультрафіолетові промені при дії навіть протягом кількох секунд викликають захворювання очей, яке називається електрофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різьбою в очах, слезотечею, спазмами повік.

Більше тривале опромінення ультрафіолетовими променями викликає опіки шкіри. Інфрачервоні промені при тривалому впливі викликають помутніння кришталіків ока (катаракту), а також опіки шкіри обличчя.

Для захисту очей та шкіри обличчя від світлових та невидимих променів дуги зварювальники та їх підручні повинні закривати обличчя щитком, маскою чи шоломом. Для захисту оточуючих осіб від випромінювання дуги в цехах встановлюють закриті зварювальні кабінки, а при будівельних і монтажних роботах застосовують переносні щити або ширми [36].

					<i>ДП.131.4121з.05.04. ПЗ</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Слід зазначити, що при зварюванні стельових, горизонтальних та вертикальних швів необхідно надягати брезентові нарукавники та щільно зав'язувати їх поверх рукавів кистей рук. Зачищати зварені шви від шлаку і флюсу слід лише після повного їх остигання і обов'язково в окулярах із простим склом.

4.1.3 Захист від отруєнь шкідливими газами, пилом та випарами.

Особливе забруднення повітря викликає зварювання електродами з якісними покриттями. При автоматичному зварюванні кількість газів та пилу значно менша, ніж при ручному.

Зварювальний пил є аерозоль - завись частинок оксидів металів і мінералів в газовому середовищі.

Основними складовими є оксиди заліза (до 70%), марганцю, кремнію, хрому, фтористі та інші сполуки. Найбільш шкідливі сполуки хрому, марганцю та фтору.

Повітря в робочих приміщеннях при зварюванні забруднюється також токсичними газами: оксидами азоту, вуглецю, фтористим воднем та ін. хром та його сполуки - 0,10; свинець та його сполуки - 0,01; цинкові сполуки – 5,0; оксид вуглецю – 20,0; фтористий водень – 0,50; оксид азоту – 5,0; бензин, гас - 300,0.

Концентрація нетоксичного пилу більше 10 мг/м³ не допускається. Однак якщо вміст кварцу в пилу перевищує 10%, то концентрація нетоксичного пилу допускається тільки до 2 мг/м³.

Видалення шкідливих газів та пилу із зони зварювання, а також подача чистого повітря здійснюються місцевою та загальною вентиляцією. Місцева витяжна вентиляція з верхнім, бічним або нижнім відсосом видаляє гази та пил безпосередньо із зони зварювання.

Загальна вентиляція має бути припливно-витяжною. У зимовий час припливне повітря нагрівають до 20...22°С допомогою калорифера.

При зварюванні в замкнутих ємностях необхідно подавати свіже повітря по шлангу безпосередньо в зону роботи зварювальника. Об'єм свіжого повітря, що подається, повинен бути не менше 30 м³/ч. Без вентиляції зварювання у замкнутих ємностях не дозволяється.

Вентиляційні пристрої повинні забезпечувати повітрообмін при ручному

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дуговому зварюванні електродами, а при автоматичному зварюванні під флюсом - біля 200мЗ на 1.0кг розплавлюваного дроту 1.0кг дроту, що розплавляється. Якщо годинна витрата електродів менше 0,20 кг на 1мЗ об'єму приміщення і, якщо концентрація зварювального пилу менш гранично допустимою, дозволяється користуватися лише природною вентиляцією [36].

4.1.4 Запобігання небезпеки вибухів.

Вибухи можливі при неправильному транспортуванні, зберіганні та використанні балонів зі стиснутими газами, при зварювальних роботах у різних ємностях без попереднього ретельного очищення їх від залишків горючих речовин.

Балони транспортують із навернутими запобіжними ковпаками на підресореному транспорті. При цьому поштовхи та удари неприпустимі. Не можна встановлювати балони поблизу нагрівальних приладів або під сонячним промінням.

На робочому місці балони повинні бути надійно укріплені у вертикальному положенні, так щоб унеможливлувалася будь-яка можливість ударів і падінь. Категорично забороняється відігрівати вологу в редукторі балона з вуглекислотою та будь-яких балонів зі стисненим газом відкритим полум'ям, оскільки це веде до вибуху балона. Відігрівати можна лише ганчірками, змоченими гарячою водою.

Ємності з-під нафтопродуктів перед зварюванням необхідно 2 - 3 рази промити гарячим 10% розчином лугу і продути парою або повітрям для видалення запаху. Ремонт газопроводів зварюванням також проводиться тільки після ретельного продування [36].

4.2 Техніка безпеки на будівельно-монтажному майданчику

Виконання зварювальних робіт на будівельно-монтажному майданчику вимагає особливо чіткого виконання всіх правил безпеки виконання робіт. Зварювальні роботи на висоті з лісів, риштування і колисок дозволяється проводити тільки після перевірки цих пристроїв керівником робіт. Ліси та підмостки повинні бути суцільними шириною не менше 1м з міцними огорожами.

					<i>ДП.131.4121з.05.04. ПЗ</i>	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допускаються короточасні роботи з приставних сходів за умови, якщо їх верхні кінці надійно закріплені до нерухомих конструкцій та виключено можливість зміщення опор або випадкового зсуву сходів. При виконанні робіт одночасно в кількох ярусах необхідно передбачити суцільні настили або навіси для захисту працюючих внизу від іскор та крапель розплавленого металу та шлаку. При цьому зварювальник повинен мати сумку для електродів, куди зобов'язаний укласти недогарки. Працюючи на висоті він повинен працювати у фібролітовій касці і брезентових наплічниках, користуватися справним запобіжним поясом і прикріплюватися ним до міцних і нерухомих конструкцій.

До виконання робіт із зварювання та різання на висоті допускаються лише робітники, які пройшли додатковий медичний огляд та спеціальне навчання методам верхолазних робіт. При ожеледиці або вітрі більше 6 балів виконувати зварювання та різання на висоті не дозволяється.

Особливої уваги вимагає закріплення зварювальних проводів і шлангів, що прокладаються, що подають газ до робочих місць, і захист їх від пошкоджень і випадкових зсувів. Дотик проводів з водою, олією, сталевими канатами та гарячими трубопроводами неприпустимий.

Як додаткові заходи захисту застосовується обмотка проводів брезентовою стрічкою [36].

4.2.1 Протипожежні заходи.

При виконанні зварювальних робіт необхідно суворо дотримуватись правил пожежної безпеки. За забезпечення протипожежних заходів відповідальність несе начальник цеху, дільниці.

Робоче місце зварювальника має бути обладнане вогнегасником, бочками або відрами з водою, ящиком з піском і лопатою та іншим протипожежним інвентарем. До виконання зварювальних робіт допускаються робітники, які пройшли інструктаж з пожежної безпеки та вміючі користуватися засобами пожежогасіння.

Небезпеку пожежі слід враховувати на будівельно-монтажному майданчику. Якщо зварювальні роботи проводяться на висоті, то необхідно апаратуру, що

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходяться внизу, і займисті матеріали захистити від іскор і крапель розплавленого металу і шлаку. Необхідна особлива обережність при виконанні зварювальних робіт поблизу дерев'яних лісів, стружки, тирси та інших горючих матеріалів.

Місця проведення зварювальних робіт повинні бути ретельно очищені від легкозаймистих та вибухонебезпечних матеріалів на відстань 30 м. Якщо зварювальні роботи намічаються до виконання на вогнебезпечних ділянках, слід обов'язково передбачити протипожежні пости. Дерев'яні підлоги, настили при необхідності захищають від іскор і крапель розплавленого металу і шлаку листами азбесту або заліза.

Категорично забороняється переміщатися із запаленим пальником поза межами робочого місця і особливо по трапах, лісах. Після закінчення робіт зварювальник зобов'язаний ретельно оглянути робоче місце та усунути причини, що можуть призвести до виникнення пожежі. Наявність та справність протипожежного обладнання підлягають постійному контролю.

Основні вимоги пожежної безпеки викладено у «Правилах пожежної безпеки під час проведення зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства», затверджених ГУПО 29 грудня 1972 р. [35; 36].

4.3 Охорона праці та навколишнього середовища -важливі аспекти у будь-якій сфері. Регулярні перевірки, дотримання стандартів безпеки та участь персоналу сприяють створенню безпечного та екологічно стійкого робочого оточення.

4.3.1 Охорона праці— це система збереження життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Таким чином, охорона праці містить не лише правові норми, що регулюють певну сторону трудових відносин, а й включає комплекс фактичних заходів, спрямованих на реалізацію права кожної людини на працю у певних умовах.

Ціль цих заходів – створення умов праці, що відповідають вимогам

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збереження життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності.

Здорові та безпечні умови праці значною мірою забезпечуються технічним прогресом, удосконаленням техніки та технології виробництва (наприклад, заміна важкої фізичної праці машинами, впровадження роботів, які замінюють людину там, де це небезпечно для її життя та здоров'я, герметизація технологічних процесів на хімічних підприємствах). Але якщо на сучасному рівні розвитку техніка та технологія виробництва даної продукції самі по собі не виключають шкідливостей, то для їх усунення повинні застосовуватися заходи, передбачені в нормах трудового права з охорони праці та спрямовані на запобігання чи нейтралізацію впливу на працюючих небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Основні напрямки державної політики у галузі охорони праці є:

- забезпечення пріоритету збереження життя та здоров'я працівників;
- прийняття та реалізація федеральних законів та інших нормативних правових актів Азербайджанської республіки, законів та інших нормативних правових актів суб'єктів Азербайджанської республіки про охорону праці, а також федеральних, галузевих та територіальних цільових програм покращення умов та охорони праці;
- державне управління охороною праці;
- проведення ефективної податкової політики, що стимулює створення безпечних умов праці, розробку та впровадження безпечних техніки та технологій, виробництво засобів індивідуального та колективного захисту працівників;
- державний нагляд та контроль за дотриманням вимог охорони праці;
- Розслідування та облік нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- участь держави у фінансуванні заходів з охорони праці тощо.

У цих актах передбачається також необхідність взаємодії та співробітництва державних органів із роботодавцями, профспілковими та іншими уповноваженими працівниками представницькими органами.

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питання поліпшення умов та охорони праці працівників, у тому числі жінок і молоді (підлітків), зазвичай включаються до колективних договорів (угод).

Інші поняття, зумовлені ст. 209 ТК АР, розкривають зміст наступних факторів та умов, що впливають на працівників у процесі трудової діяльності:

1. Умови праці – сукупність факторів виробничого середовища та трудового процесу, що впливають на працездатність та здоров'я працівника;

2. Безпечні умови праці – умови праці, при яких вплив на працюючих шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів виключено або рівні їх впливу не перевищують встановлених нормативів;

3. Шкідливий виробничий чинник – виробничий чинник, вплив якого працівника може призвести до його захворювання;

4. Небезпечний виробничий чинник – виробничий чинник, вплив якого працівника може призвести до його травми [37].

Особливості охорони праці на важких, шкідливих і небезпечних роботах

Підвищені вимоги до охорони праці, отже, і спеціальні правила з охорони праці встановлюються законодавством окремих галузях господарства з урахуванням шкідливих і небезпечних умов труда.

На роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на роботах, що виконуються в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням, працівникам видаються сертифіковані засоби індивідуального захисту (спеціальний одяг та взуття, респіратори, маски, шоломи, захисні окуляри і т. д.), змивають та знешкоджують засоби. Придбання, зберігання, прання, чищення, ремонт, дезінфекція, знешкодження засобів індивідуального захисту працівників здійснюється за рахунок коштів роботодавця.

На роботах, пов'язаних із забрудненням, працівникам видається безкоштовно за встановленими нормами мило, а там, де можлива дія на шкіру шкідливо діючих речовин, що змивають, знешкоджують засоби. Переліки робіт та професій визначаються роботодавцем за погодженням із відповідним профспілковим органом.

На вантажно-розвантажувальних роботах встановлені граничні норми

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підйому, перенесення та пересування ваг. До виконання деяких важких і шкідливих (у тому числі підземних) робіт, а також робіт, пов'язаних з рухом транспорту, допускаються лише особи, які мають необхідний стан здоров'я, підтверджений медичним висновком.

Деяким категоріям працівників у зв'язку з несприятливими умовами праці надаються пільги за робочим часом та часом відпочинку. Для працівників, зайнятих на роботах зі шкідливими умовами праці, встановлена скорочена тривалість робочого часу. Їм надається додаткова відпустка. Список виробництв, цехів, професій та посад зі шкідливими умовами праці, робота в яких дає право на додаткову відпустку та скорочений робочий день, затверджується у порядку, встановленому законодавством.

Працівникам, які працюють у холодну пору року на відкритому повітрі або в закритих приміщеннях, що не обігріваються, вантажникам, зайнятим на вантажно-розвантажувальних роботах, а також іншим категоріям працівників у випадках, передбачених законодавством, надаються спеціальні перерви для обігріву та відпочинку, які включаються в робочий час. Роботодавець зобов'язаний обладнати приміщення для обігріву та відпочинку працівників.

Організацію проведення медичних оглядів покладено на роботодавця. Такі огляди провадяться за його рахунок. Роботодавець, зокрема, видає працівникові на руки направлення на медичний огляд, перелік шкідливих, небезпечних речовин та виробничих факторів.

У разі ухилення працівника від проходження медичного огляду або виконання ним рекомендацій за результатами виробничих обстежень роботодавець не повинен допускати його до роботи. Відмова чи ухилення працівника без поважних причин від медичного огляду є порушенням трудової дисципліни.

Видача молока та лікувально-профілактичного харчування. На роботах із шкідливими умовами праці працівникам видаються безкоштовно за встановленими нормами молоко чи інші рівноцінні харчові продукти. На роботах із особливо шкідливими умовами праці надається безкоштовно за встановленими нормами лікувально-профілактичне харчування. Норми та умови безкоштовної

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видачі молока та інших рівноцінних продуктів, а також лікувально-профілактичного харчування затверджуються у порядку, встановленому Урядом АР.

Гарантії, пільги та компенсації працівникам, зайнятим на важких та шкідливих роботах. Оплата праці працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими, небезпечними та іншими особливими умовами праці, виробляється в підвищеному розмірі. У підвищеному розмірі оплачується також праця працівників, зайнятих на роботах у місцевостях із особливими кліматичними умовами.

Зазвичай прийнято розглядати поняття охорони праці в широкому та вузькому значенні. У вузькому значенні під охороною праці розуміється створення та розвитку нормативної бази правового регулювання відносин у цій галузі, і навіть застосування і правил охорони праці процесі трудової діяльності, зокрема які передбачають відповідальність їх порушення.

У кожному разі охорона праці одна із найважливіших елементів трудового відносини між працівником і роботодавцем. Вона полягає в обов'язку роботодавця забезпечити на робочому місці працівника безпечні умови праці, надати необхідні засоби індивідуального та колективного захисту, а також в обов'язки працівника дотримуватись вимог з охорони праці та забезпечення безпеки праці.

Ефективна охорона праці не тільки знижує ризики для працівників, але також сприяє підвищенню продуктивності та загальної стійкості підприємства [37].

4.3.2 Охорона навколишнього середовища- система заходів, вкладених у забезпечення сприятливих і безпечних умов довкілля і життєдіяльності людини. Найважливіші чинники довкілля - атмосферне повітря, повітря житла, вода, ґрунт. ООС передбачає збереження та відновлення природних ресурсів з метою попередження прямого та непрямого негативного впливу результатів діяльності людини на природу та здоров'я людей.

Система стандартів та нормативів. Найважливішими екологічними стандартами є нормативи якості довкілля - гранично допустимі концентрації (ПКД) шкідливі речовини у природних середовищах. На основі ГДК

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробляються науково-технічні нормативи гранично допустимих викидів шкідливих речовин в атмосферу та скидів у водний басейн. Ці нормативи встановлюються індивідуально кожному за джерела забруднення з таким розрахунком, щоб сукупний вплив на довкілля всіх джерел у цьому районі не призводило до перевищення ГДК.

Система стандартів «Охорона природи» – складова частина державної системи стандартизації ГСС. Система стандартів у сфері охорони навколишнього середовища та поліпшення використання природних ресурсів - сукупність взаємозалежних стандартів, вкладених у збереження, відновлення і раціональне використання природних ресурсів.

Охорона навколишнього середовища охоплює різні аспекти для сталої взаємодії з природою:

- Управління відходами - Розробка систем збирання, переробки та утилізації відходів з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.
- Енергозбереження - Застосування ефективних технологій та рішень для скорочення енергоспоживання та використання відновлюваних джерел енергії.
- Збереження води - Раціональне використання водних ресурсів, впровадження технологій з очищення та повторного використання води.
- Біорізноманіття - Збереження та підтримання різноманітності живих організмів через заходи охорони природних територій та екосистем.
- Хімічна безпека - Контроль за використанням хімічних речовин, впровадження безпечних методів виробництва та поводження з хімікатами.
- Екологічно відповідальні технології - Розробка та впровадження технологій, що сприяють зменшенню негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.
- Законодавство та нормативи - Дотримання законодавства в галузі охорони навколишнього середовища та активна відповідність нормативам.
- Освіта та інформування - Проведення освітніх заходів серед персоналу та громадськості для підвищення усвідомленості в галузі охорони навколишнього середовища.

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна охорона навколишнього середовища сприяє сталому розвитку, зберігає природні ресурси та забезпечує сприятливі умови для майбутніх поколінь [38].

Висновки

1. Напруга холостого ходу джерел живлення дуги досягає 90 В, а при плазово-дуговому різанні 200 В. Враховуючи, що опір людського організму в залежності від його стану (втом, стан здоров'я, вологість шкіри) може змінюватися в широких межах (від 1000 до 20 000 Ом), вказані вище напруги є дуже небезпечними для життя. Струми більше 0,05 А можуть спричинити тяжкі наслідки і навіть смерть [36].

2. Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих світлових променів та невидимих ультрафіолетових та інфрачервоних. Яскравість світлових променів значно перевищує норму, що допускається для людського ока, і тому, якщо дивитися на дугу неозброєним оком, вона справляє сліпучу дію. Ультрафіолетові промені при дії навіть протягом кількох секунд викликають захворювання очей, яке називається електрофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різьбою в очах, слезотечею, спазмами повік.

3. Концентрація нетоксичного пилу понад 10 мг/м³ не допускається. Однак якщо вміст кварцу в пилу перевищує 10%, то концентрація нетоксична пилу допускається лише до 2 мг/м³.

4. Ємності з-під нафтопродуктів перед зварюванням необхідно 2 - 3 рази промити гарячим 10%-ним розчином лугу і продути парою або повітрям для видалення запаху. Ремонт газопроводів зварюванням також проводиться тільки після ретельного продування [35; 36].

5. охорона праці містить не лише правові норми, що регулюють певну сторону трудових відносин, а й включає комплекс фактичних заходів, спрямованих на реалізацію права кожної людини на працю в певних умовах [37].

6. Здорові та безпечні умови праці значною мірою забезпечуються технічним прогресом, удосконаленням техніки та технології виробництва (наприклад, заміна важкої фізичної праці машинами, впровадження роботів, які замінюють людину

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

там, де це небезпечно для її життя та здоров'я, герметизація технологічних процесів на хімічних підприємствах). Але якщо на сучасному рівні розвитку техніка та технологія виробництва даної продукції самі по собі не виключають шкідливостей, то для їх усунення повинні застосовуватися заходи, передбачені в нормах трудового права з охорони праці та спрямовані на запобігання чи нейтралізацію впливу на працюючих небезпечних та шкідливих виробничих факторів [37].

					ДП.131.4121з.05.04. ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

У дипломній роботі розглядається розробка та атестація технологічних процесів зварювання із сталі марки ЕН36/РЕС36.

У цьому розділі розраховується кількість обладнання та його завантаження, розрахунки капітальних вкладень та технічні норми часу на складання та зварювання щодо впровадження автоматичного зварювання під флюсом [39; 40].

Розроблений варіант:

- зварювальний автомат ESAB A2 Multitrac;
- зварювальний дріт – ESAB OK Autrod 12.22 Ø 4.0 мм;

Вартість основних та витратних матеріалів:

1. зварювальний дріт для автомата ESAB OK Autrod 12.22 Ø 4.0 мм- 4,86 € / кг;
2. флюс ESAB OK Flux 10.71 та 10.69 – 1,53 €/кг.;
3. електроенергія - 0,13 € / кВт.год

Вартість обладнання:

Зварювальний автомат ESAB A2 Multitrac - 9000 €;

Джерелом живлення ESAB LCF 2400 - 12450 €;

Матеріал: вуглецева сталь ЕН36;

Довжина шва: 0,6 м;

Ширина: 0,3 м;

Товщина: 7 мм;

Кількість зразків – 1 прим. (застосовується для розрахунку 100 шт.);

Робота – середньої складності;

Положення шва - 1G/PA нижнє стикове;

Умови виконання роботи – стаціонарні (тренувальний центр);

Тип шва - стикове (1G/PA)

5.1 Визначення та розрахунок технічних норм часу на складання та зварювання

					ДП.131.4121з.05.05. ПЗ										
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата											
Студент		Рагімов			РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ					Лім.		Арк.		Архувів	
Керівник.		Костін										109		121	
Консул.										НУК ім. адм. Макарова					
Н. Контр.															
Зав.каф.		Драган													

Загальний час виконання зварювальної операції $T_{шт}$, час, складається з декількох компонентів і визначається за такою формулою:

$$T_{шт} = t_0 + t_{пз} + t_B + t_{обс} + t_{п}, \quad (5.1)$$

Де, $T_{шт}$ - загальний час на виконання зварювальної операції, годину;

$t_{пз}$ - підготовчо-заключний час, година;

t_0 - основний час, година;

t_B - допоміжний час, година;

$t_{обс}$ - час на обслуговування робочого місця, годину;

$t_{п}$ - час перерв на відпочинок та особисті потреби, година;

Основний час - це час на безпосереднє виконання зварювальної операції.

Воно визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{\Sigma L_{шв}}{V_{св}}, \quad (5.2)$$

де t_0 - основний час, година;

$L_{шв}$ - сума довжин всіх швів, див. $\Sigma L_{шв} = 0,6$ м;

$V_{св}$ - швидкість зварювання шва, см/год. $V_{св} = 27$ м/год.

Підставляємо значення у формулы (5.2):

$$t_0 = \frac{0.6}{27} \approx 0.022 \text{ час} \approx 1.32 \text{ мин.} \approx 80 \text{ сек.}$$

Підготовчо-заключний час включає такі операції як отримання виробничого завдання, інструктаж, отримання і здавання інструменту, огляд і підготовка обладнання до роботи і т.д.

При його визначенні загальний норматив часу $t_{пз}$ ділиться на кількість деталей, випущених за зміну.

Прийmemo: $t_{пз} = \sim 10\%$ від t_0 .

Тобто: $t_{пз} = 0,0022$ год.

Допоміжний час включає в себе час на заправку касети з електричного дроту t_E , огляд і очищення кромки $t_{кр}$, що зварюються, очищення швів від шлаку і бризок $t_{бр}$, таврування швів $t_{кл}$, установку і поворот виробу, його закріплення $t_{изд}$:

$$t_B = t_E + t_{кр} + t_{бр} + t_{изд} + t_{кл}, \quad (5.3)$$

Де, t_B - допоміжний час, хв;

					ДП.131.4121з.05.05. ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t_E – час на заправку касети з електродного дроту, хв;

t_{KP} – час на огляд і очищення кромки, що зварюються, мін;

t_{BP} – час на очищення швів від шлаку та бризок, хв;

t_{KL} – час на таврування швів, хв;

t_{ID} – час на встановлення та поворот виробу, його закріплення, хв.

При автоматичній зварці в допоміжний час входить час на заправку касети з електродного дроту. Це час можна прийняти рівним:

$$t_E = 5 \text{ хв} = 0,083 \text{ год.}$$

Час зачистки кромки чи шва обчислюють за такою формулою:

$$t_{KP} = L_{ШВ} (0,6 + 1,2 \cdot (n_c - 1)), \quad (5.4)$$

Де, t_{KP} – час на огляд та очищення кромки, що зварюються, мін;

n_c – кількість шарів при зварюванні;

$L_{ШВ}$ – довжина шва, м. $L_{ШВ} = 0,6$ м-коду.

Підставляємо значення у формулу (5.4):

$$t_{KP} = 0,6 \cdot (0,6 + 1,2 \cdot (1 - 1)) = 0,36 \text{ мин.} = 0,006 \text{ час}$$

Час на очищення швів від шлаку та бризок t_{BP} розраховуємо за формулою:

$$t_{BP} = L_{ШВ} (0,6 + 1,2 \cdot (n_c - 1)), \quad (5.5)$$

Де, t_{BP} – час на огляд та очищення швів від шлаку та бризок, хв;

n_c – кількість шарів при зварці;

$L_{ШВ}$ – довжина шва, м. $L_{ШВ} = 0,6$ м-коду.

Підставляємо значення у формулу (5.5):

$$t_{BP} = 0,6 \cdot (0,6 + 1,2 \cdot (1 - 1)) = 0,36 \text{ мин.} = 0,006 \text{ час}$$

Час на установку тавра, t_{KL} приймають 0,03 хв на 1 знак, $t_{KL} = 0,21$ хв.

Час на встановлення, поворот та зняття виробу, t_{ID} залежить від його маси, дані вказані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Норма часу на установку, поворот і зняття виробу залежно від його маси

Елементи робіт	Вага виробу, кг						
	5	10	15	25	до 40	до 50	до 100
	Час, хв						
	вручну				краном		

Встановити, повернути, зняти збірну одиницю і віднести на місце складування	1,30	3,00	4,30	6,00	5,20	6,30	8,40
--	------	------	------	------	------	------	------

$$t_{\text{изд}} = 3,0 \text{ мин} = 0,05 \text{ час}$$

Таким чином розраховуємо значення t_B ,

Підставляємо значення формулу (5.3):

$$t_B = 5 + 0,36 + 0,36 + 3 + 0,21 = 8,93 \text{ мин.} \approx 0,15 \text{ час.}$$

Час на обслуговування робочого місця включає час на встановлення режиму зварювання, налагодження автомата, прибирання інструменту і т.д. приймаємо рівним:

$$t_{\text{обс}} = (0,6 \dots 0,8) \cdot t_0, \quad (5.6)$$

Де, $t_{\text{обс}}$ – час на обслуговування робочого місця, годину;

t_0 - основний час, годину. $t_0 = 0,022 \text{ год.}$

Підставляємо значення у формулу (5.6):

$$t_{\text{обс}} = 0,7 \cdot 0,022 \approx 0,016 \text{ час.} \approx 0,96 \text{ мин.} \approx 58 \text{ сек.}$$

Час перерв на відпочинок та індивідуальні потреби залежить від положення, в якому зварювальник виконує роботи.

При зварюванні у зручному положенні:

$$t_{\Pi} = 0,7 \cdot t_0, \quad (5.7)$$

Підставляємо значення у формулу (5.7):

$$t_{\Pi} = 0,7 \cdot 0,022 \approx 0,016 \text{ час.} \approx 0,96 \text{ мин.} \approx 58 \text{ сек.}$$

Таким чином, розрахунок загального часу ТШТ виконання зварювальної операції провадимо за формулою (5.1):

$$T_{\text{шт}} = 1,32 + 0,132 + 9 + 0,96 + 0,96 = 12,87 \text{ мин.} \approx 0,215 \text{ час.}$$

Отже, розрахунок загального часу: 0,215 годин.

5.2 Визначаємо загальну трудомісткість- загальну трудомісткість річної виробничої програми, ТПРОИЗВ.ПР. зварних конструкцій за операціями техпроцесу за формулою:

$$T_{\text{ПРОИЗВ.ПР.}} = T_{\text{шт}} \cdot N, \quad (5.8)$$

Де, N - річна програма, прим., у разі $N = 100$ прим.

					ДП.131.4121з.05.05. ПЗ	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляємо значення у формулу (5.8):

$$T_{\text{ПРОИЗВ.ПР.}} = 0.215 \cdot 100 = 21.5 \text{ час.}$$

5.3 Розрахунок кількості обладнання та його завантаження

Необхідна кількість обладнання розраховується за даними техпроцесу. Розраховуємо кількість обладнання за операціями техпроцесу СР, за формулою:

$$C_P = \frac{T_{\text{ПРОИЗВ.ПР.}}}{\Phi_d \cdot K_n} \cdot 100, \quad (5.9)$$

Де, Φ_d – дійсний фонд часу роботи обладнання, година. ($\Phi_d = 1914$ год.);

K_n – коефіцієнт виконання норм ($K_n = 1,1 \dots 1,2$).

Підставляємо значення у формулу (5.9):

$$C_P = \frac{21,5}{1914 \cdot 1,2} \cdot 100 = 0,93; \text{ примем } C_{\Pi} = 1 \text{ шт.}$$

Ухвалена кількість обладнання СП визначаємо шляхом округлення розрахункової кількості у бік збільшення до найближчого цілого числа. Слід пам'ятати, що допускається навантаження робочих місць має перевищувати 5 - 6%. За новою зміненою технологією достатньо одного апарату для автоматичного зварювання під флюсом.

Розрахунок коефіцієнта завантаження обладнання K_3 виконуємо за формулою:

$$K_3 = \frac{C_P}{C_{\Pi}}, \quad (5.10)$$

Де, K_3 – коефіцієнт завантаження обладнання;

C_P – кількість обладнання за операціями техпроцесу, шт.

C_{Π} – прийнята кількість обладнання, шт.

Підставляємо значення у формулу (5.10):

$$K_3 = \frac{0,93}{1} = 0,93$$

Коефіцієнт завантаження обладнання дорівнює 1, оскільки обладнання та техоснастка не використовується на інших роботах на даному підприємстві.

Необхідно прагнути того, щоб середній коефіцієнт завантаження обладнання був, можливо, ближче до одиниці [39; 40].

					ДП.131.4121з.05.05. ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4 Розрахунок капітальних вкладень

Для розрахунку балансової вартості устаткування необхідно знати ціну придбання обраного в технології устаткування. Для цього подаємо вихідні дані у вигляді таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Вихідні дані

Устаткування	Кількість	Вартість
Річна виробнича програма випуску	шт.	100
Підвісна кран-балка до 3 тонн	євро/шт.	2000
Зварювальний автомат ESAB A2 Multitrac	євро/шт.	10000(використано)
Листопрямильна машина для вирівнювання листового металу серії WD UBR	євро/шт.	8000
Джерелом живлення ESAB LCF 2400	євро/шт.	15450(використано)
Ультразвуковий дефектоскоп A1550 IntroVisor	євро/шт.	400
Тривалкова листозгинальна машина Акуарак серії АН	євро/шт.	9000
Кутошліфувальна машинка «Енкор УШМ1100/125Е	євро/шт.	300
Установка плазмового різання MasterCut PR 5900x2000x25	євро/шт.	9100(використано)
Зварювальний дріт – ESAB OK Autrod 12.22 Ø 4.0 мм	євро/кг.	4,86(використано)
Флюс ESAB OK Flux 10.71	євро/кг.	1,30(використано)
Допоміжний флюс ESAB OK Flux 10.69	євро/кг.	23(використано)
Довжина зварного шва	м	0,6
Положення шва		1G/РА нижнє стикове
Умови виконання роботи		стаціонарні
Кваліфікаційний розряд електрозварювальника		4
Маса конструкції(зразка)	тонн	0,01

Розраховуємо балансову вартість обладнання при базовому варіанті технології виготовлення металоконструкції та проектованому варіанті

технології за формулою:

$$K_{0Bj} = C_{0Bj} \cdot (1 + K_{T3}), \quad (5.11)$$

Де, K_{0Bj} - вартість придбання одиниці j -ого обладнання, євро.;

K_{T3} - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати на влаштування фундаменту, монтаж, налагодження ($K_{T3} = 0,11 \dots 0,12$).

Підставляємо значення у формулу (5.11):

$$K_{0Bj} = 34579 \cdot (1 + 0,12) = 38728,48$$

Капітальні вкладення обладнання для виконання річного обсягу робіт визначаємо за формулою:

$$K_{0B} = \sum K_{0Bj} \cdot C_{пj} \cdot K_{зj}, \quad (5.12)$$

Де, K_{0Bj} – балансова вартість j -ого обладнання, євро.;

$C_{пj}$ - прийнята кількість j -ого обладнання, прим.;

$K_{зj}$ – коефіцієнт завантаження j -ого обладнання, $K_{зj}=1$.

Підставляємо значення у формулу (5.12):

$$K_{0B} = 38728,48 \cdot 1 \cdot 1 = 38728,48$$

Розраховані дані заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунки капітальних вкладень

Статті розрахунків	Розроблений варіант
1	2
Оптова ціна одиниці обладнання, євро.	34579
Кількість одиниць устаткування, прим.	1
Сумарні капітальні вкладення у технологічне обладнання, євро.	38728.48

Висновки

1. Економічні розрахунки показали, що розрахунок загального часу на один виріб, тобто на один випробувальний зразок, становить 0,215 годин, кількість обладнання – 1 штука, загальна трудомісткість – 21,5 годин, оптова ціна одиниці обладнання становить 34 579 євро, загальні капітальні вкладення обладнання для виконання річного обсягу робіт становлять 38 728,48 євро.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розробка та атестація технологічних процесів зварювання суднових вуглецевих сталей потребує ретельного підходу.

Основні висновки включають визначення оптимальних параметрів зварювання, облік особливостей матеріалу, забезпечення стійкості зварних з'єднань до впливу агресивних середовищ, а також дотримання стандартів безпеки та нормативних вимог.

Контроль якості та регулярна періодична атестація відіграють ключову роль у забезпеченні надійності зварних з'єднань під час експлуатації суднових конструкцій.

У цій дипломній роботі було проведено розробку та атестацію технологічних процесів ручного, напівавтоматичного та автоматичного дугового зварювання з вуглецевої сталі марки ЕН36.

За результатами досліджень було вирішено поставлені завдання та зроблено такі висновки.

1. Методика розрахунку, викладена у методичних вказівках, застосовна до розрахунку режимів дугового зварювання покритими електродами, під флюсом й у захисних газах.

2. При ручному дуговому зварюванні покритими електродами основними параметрами режиму зварювання є діаметр електрода, сила зварювального струму, напруга дуги, рід струму, полярність, швидкість зварювання, площа поперечного перерізу шва, що виконується за один прохід чи кількість проходів. Метою плану випробувань була атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу ЕН36, товщиною 25,4 мм згідно з вимогами для позиції 2G/PC. Для цієї сталі значення Шарпі (CVN) - 34 Джоуля -40°C, межа плинності мінімум 355(МПа), міцність на розтяг 490-620(МПа). Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі (CVN) - 129 Джоуля -40°C, Межа плинності: 401(МПа),

					ДП.131.4121з.05.00. ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ				Літ.		Арк.	Аркушів
Студент	Рагімов										116	121
Керівник.	Костін											
Консул.												
Н. Контр.												
Зав.каф.	Драган											
					НУК ім. адм. Макарова							

міцність на розтяг 549(МПа).

3. До параметрів режимів механізованого дугового зварювання в захисних газах і під флюсом, що визначаються розрахунком, відносяться: зварювальний струм (ICB), напруга на дузі (UD) , швидкість зварювання (VCB), діаметр (d e) і швидкість подачі електродного дроту (VN.ЕЛ). Метою плану випробувань була атестація технологічного процесу стикового зварювання з використанням вуглецевої сталі класу EN36, 25 мм та 7 мм згідно з вимогами для позиції 3G/РF та 1G/РА. Для цієї сталі значення Шарпі (CVN) - 34 Джоуля -40°С, межа плинності мінімум 355(МПа), міцність на розтяг 490-620(МПа). Напівавтоматична у захисних газах. Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі (CVN) - 128 Джоуля -40°С, Межа плинності: 405(МПа), міцність на розтяг 554(МПа). Автоматична під флюсом. Після досліджень та випробувань отримані значення були наступними: Шарпі (CVN) - 128 Джоуля - 40°С, Межа плинності: 390(МПа), міцність на розтяг 532(МПа).

6. Техніка безпеки, захист від ураження електричним струмом. Напруга холостого ходу джерел живлення дуги досягає 90 В, а при плазмово-дуговому різанні 200 В. З огляду на те, що опір людського організму в залежності від його стану (втома, стан здоров'я, вологість шкіри) може змінюватися в широких межах (від 1000 до 20 000) Ом), вказані вище напруги є дуже небезпечними для життя. Струми більше 0,05 А можуть спричинити тяжкі наслідки і навіть смерть.

7. Охорона праці є системою збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

8. Економічні розрахунки показали, що розрахунок загального часу на один виріб, тобто на один випробувальний зразок, становить 0,215 годин, кількість обладнання – 1 штука, загальна трудомісткість – 21,5 годин, оптова ціна одиниці обладнання становить 34 579 євро, загальні капітальні вкладення обладнання для виконання річного обсягу робіт становлять 38 728,48 євро.

					ДП.131.4121з.05.00. ПЗ	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднобудування, /About Us - Baku Shipyard LLC
<https://bakushipyard.com/about/>
2. Суднобудування, катеробудування та судноремонт (safework.ru)
<http://base.safework.ru/iloenc?print&nd=857200634&spack=110>
3. Зварювальні шви: види зварних з'єднань та класифікація способів зварювання (svarbi.ru) <https://www.svarbi.ru/articles/svarochnye-shvy-vidy-svarnykh-soedineniy-i-klassifikatsiya-sposobov-svarki/>
4. CSWIP Certification Scheme for Personal 3.1 TWI Welding WIS5 Book
5. Сутність процесу зварювання ТІГ | | Блог про контроль якості металу (ndt-welding.com) <https://ndt-welding.com/561/>
6. Контроль якості (up-pro.ru) <https://up-pro.ru/encyclopedia/quality-control/>
7. Геворкян В. Г. Основи зварювальної справи: Підручник для будуює, спец, технікумів. 4-те вид., перероб. і доп.- М.: Вища, «шк., 1985.-168 с.
8. [ISO 17637] Неруйнівний контроль зварних швів, візуальний контроль зварних з'єднань плавленням (non-destructive testing of welds - visual testing of fusion-welded joints).
9. ГОСТ 7122 – 81 Методи відбору проб для визначення хімічного складу.
10. ASME section IX / B31.3 (Американське товариство інженерів-механіків) / Правила RS, том II, частина XIV, клас II / AWS D1.1, ISO 23278 /EN1712/EN1714.
11. Джерела живлення для дугового зварювання: навч. посібник для студ. вищ. навч. заклади / О. Є. Капустін. - М: Видавництво "Кван", 2006. - 74 с.
12. Джерела живлення для зварювання. Зварювальне обладнання. (svarkatop.com)/<https://svarkatop.com/istochnikov-pitanija-jelektricheskoy-du/>

					ДП.131.41213.05.00. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		
Студент	Регімов						
Керівник.	Костін						
Консул.							
Н. Контр.							
Зав.каф.	Драган						
					Літ.	Арк.	Архувів
						118	121
					НУК ім. адм. Макарова		

13. Багатопостовий зварювальний випрямляч LCF 2400 0159840884 Esab (se-welding.ru)/161303037.pdf (esab.com)
14. Реостат баластний RC 500 0551403485 Esab (Есаб) (se-welding.ru)
15. Інверторні джерела живленняrt4000-5000-psi_na9910311.pdf (newarc.co.uk)/https://www.newarc.co.uk/media/4dafox23/rt4000-5000-psi_na9910311.pdf
16. Механізми подачі дроту Mobile Feed 300AVS (ventsvar.ru)/https://www.ventsvar.ru/catalog/esab-mobilefeed-300-avs.html?mobile_full=Y
17. 3.2CSWIP Certification Scheme for Personal TWI Welding WIS5 Book
18. EN ISO 15614 Технічні вимоги та оцінка процедур зварювання металевих матеріалів. Випробовування процедур зварювання.
19. Стандарт ASME по котлах та судинах тиску. Міжнародний стандарт ASME Розділ IX для герметизованих систем (трубопроводи та судини)
20. AWS D1.2 Зварювання алюмінієвих будівельних конструкцій; AWS D1.1 Зварювання сталевих будівельних конструкцій; AWS D1.6 Правила зварювання конструкцій нержавіюча сталь
21. План уч.-метод. документ. 1987, поз.106. Упорядник О.П. Покатаєв. (Розрахунок режимів дугового зварювання)
22. Визначення, позначення, скорочення, нормативні посилання<https://core.ac.uk/download/pdf/326326681.pdf>
23. Розрахунок режимів для ручного дугового зварювання покритими електродами, ГОСТ 5264-80 Основні типи, конструктивні елементи та розмірhttps://studbooks.net/1646790/tovarovedeni/raschet_rezhimov_svarki
24. Розрахунок режимів зварювання для ручного дугового зварювання покритими електродами<https://studfile.net/preview/17019490/page:5/>,<https://studfile.net/preview/4241802/page:7/>, 6 Розрахунок хімічного складу шва/ <https://studfile.net/preview/17056437/page:8/>
25. Е.П. Рагімов фотографії було взято зі своєї практики.
26. ISO 17639 Руйнівні випробування зварних швів металевих матеріалів. Макроскопічний та мікроскопічний контроль зварних швів.

					ДП.131.4121з.05.00. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

27. ISO 6520-1-2012 Зварювання та споріднені процеси. Класифікація дефектів геометрії та суцільності у металевих матеріалах.
28. Марочник сталей та сплавів. 2 - е вид., Дод. та випр. / А.С. Зубченко, М.М. Колосків, Ю.В. Каширський та ін. За загальною ред. А.С. Зубченко - М.: Машинобудування, 2003. - 784 с: іл.
29. Мустафін С.Ю. Дослідження зносостійкості рухомих пар запірної арматури газо-нафтопроводів [текст]: дис. канд. техн. наук: 05.02.04 / Мустафін Салават Юлайович. - М., 2002. - 228 с.
30. Патон Б.Є. Технологія електричного зварювання металів та сплавів плавленням / Под ред. - М: Машинобудування, 1974. -767с.
31. Розрахуємо режим напіваавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів для стикового з'єднання, ГОСТ 14771-76 Основні типи, конструктивні елементи та розміри / <https://studfile.net/preview/5885244/page:2/>
32. Акулов, А.І. Технологія та обладнання зварювання плавленням. Підручник для студентів вузів/А.І. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Дем'янцевич. -М.: Машинобудування. -1997. - 432с. мул.
33. Розрахунок режимів для зварювання під флюсом, ГОСТ 8713-79 Основні типи, конструктивні елементи та розміри /<https://studfile.net/preview/17056437/page:6/>
34. Основи технології зварювання низьколегованих високоміцних сталей: навчальний посібник / Г. В. Єгоров, Г. В. Єрмолаєв, В. В. Квасницький, В. Ф. Квасницький, В. А. Мартиненко, М. В. Матвієнко, Л. П. Кравченка. - Миколаїв: НУК, 2014. - 136 с.
35. ГУПО Головне управління пожежної охорони 29 грудня 1972 р.
36. Геворкян В. Г. Основи зварювальної справи: Підручник для будує, спец, технікумів. 4-те видання, перероблена та доповнене - М.: Вищої, школи, 1985.-168 с.
37. Трудовий кодекс Азербайджанської Республіки, https://continent-online.com/Document/?doc_id=30420364#pos=5;-
144,<https://studfile.net/preview/7268021/>,<https://studfile.net/preview/7268021/page:3/>

					ДП.131.4121з.05.00. ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38. Протасов В.Ф. Екологія, здоров'я та охорона навколишнього середовища: Навчальний та довідковий посібник. - 3-тє вид. - М.: Фінанси та статистика, 2001, https://www.studmed.ru/view/referat-zaschita-okruzhayuschey-sredy_9264172621e.html?page=3

39. Карпей, Т.В. Економіка, організація та планування промислового виробництва / Т.В. Карпей, - Мн.: Дизайн ПРО, 2004. - 328с.

40. Розробка технології збирання та зварювання ємності для гідросистеми (rsvpu.ru)

					ДП.131.4121з.05.00. ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		